

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN ÉDUCATION (M.A.)

PAR
SIMON LANGLOIS

RAISONNEMENT SCIENTIFIQUE ET CHANGEMENT CONCEPTUEL
RÉALISÉS PAR DES ÉTUDIANTS COLLÉGIAUX DANS UN CONTEXTE
D'EXPÉRIENCES DE LABORATOIRE OUVERTES

JANVIER 2008

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

Sommaire

Les expériences de laboratoire constituent un endroit privilégié pour l'apprentissage des sciences, notamment au collégial. Des stratégies pédagogiques variées peuvent être envisagées dans cet environnement didactique, afin de développer chez les étudiants plusieurs attitudes et habiletés nécessaires à l'investigation scientifique.

Une des stratégies possibles pendant une expérience de laboratoire consiste à donner aux étudiants une mise en situation initiale, à partir de laquelle ils pourront poursuivre la construction de leurs connaissances. Ce type d'expérimentation, qualifiée d'ouverte, place les étudiants au cœur de leur apprentissage, permettant plus aisément l'observation de leurs processus cognitifs.

Dans le cadre de la présente recherche, ce sont les processus cognitifs du raisonnement scientifique et du changement conceptuel qui seront étudiés dans le contexte des expériences de laboratoire ouvertes.

Les principaux résultats sur le raisonnement basés sur la logique propositionnelle montrent que les expériences de laboratoire ouvertes procurent une occasion aux étudiants de réaliser une grande variété de raisonnements, tels que la déduction, l'induction et la covariation.

D'autres résultats, dont notamment ceux sur le changement conceptuel, ont permis de mettre en évidence des préconceptions en lien avec le son et le mouvement oscillatoire. À partir de ces préconceptions, notre analyse suggère que le développement des préconceptions s'effectue par enrichissements successifs, comme

I'ont défini Vosniadou et Brewer (1992) ainsi que Vosniadou (1994). Ces résultats viennent appuyer les recherches qui affirment que le savoir scientifique peut se construire en continuité avec le savoir commun (Niedderer, 1987; Brown & Clement, 1989)

Mots clés : Cégep, changement conceptuel, expérience de laboratoire, laboratoire ouvert, logique propositionnelle, raisonnement, raisonnement scientifique.

Liste des sigles, des acronymes et des abréviations

APC :	Approche par compétences
CÉGEP :	Collège d'enseignement général et professionnel
CSE :	Conseil supérieur de l'éducation
DGEC :	Direction générale de l'enseignement collégial
ESP :	Épreuve synthèse de programme
MELS :	Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport
MEQ	Ministère de l'Éducation du Québec
MESS :	Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science

Table des matières

SOMMAIRE.....	ii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES.....	vi
REMERCIEMENTS.....	vii
AVANT-PROPOS	1
CHAPITRE 1 : PROBLÉMATIQUE	3
1.1 Mise en contexte.....	4
1.1.1 Survol de l’historique des cégeps	4
1.1.2 Survol de l’historique du programme Sciences de la nature.....	6
1.1.3 Cours de physique « Ondes, optique et physique moderne », 203-NYC-05 ..	8
1.2 Définition du problème.....	9
1.2.1 Contexte d’émergence des expériences de laboratoire	10
1.2.2 Limitations des expériences de laboratoire fermées.....	11
1.2.3 Une alternative possible, les expériences de laboratoire ouvertes.....	13
1.3 Les questions de recherche.....	15
CHAPITRE 2 : CADRE CONCEPTUEL	17
2.1 Le concept d’expérience de laboratoire	18
2.1.1 L’expérience de laboratoire scientifique fermée	21
2.1.2 L’expérience de laboratoire ouverte	23
2.2. La logique propositionnelle	24
2.2.1 Logique propositionnelle et inférence	25
2.2.2 Critique à l’égard de la logique propositionnelle	27

2.3. Le raisonnement	28
2.3.1 Définition générale	29
2.3.2 Raisonnement conditionnel	29
2.3.3 Raisonnement covariant et causal.....	30
2.3.4 Raisonnement analogique	32
2.3.5 Raisonnement déductif.....	32
2.3.6 Raisonnement inductif	34
2.4 Le raisonnement scientifique.....	37
2.5 Le changement conceptuel	41
2.5.1 Concept	41
2.5.2 Préconceptions des étudiants.....	42
2.5.3 Conflit cognitif	43
2.5.4 Diverses conceptions du changement conceptuel	44
2.6 Les objectifs de recherche	50
CHAPITRE 3 : MÉTHODE	51
3.1 Généralités sur la méthode.....	52
3.2 Collecte de données.....	53
3.2.1 Durée et déroulement de la collecte.....	53
3.2.2 Type de recherche	55
3.2.3 Conception de nouveaux laboratoires.....	55
3.2.4 Le questionnaire ouvert.....	56
3.2.5 L'entrevue semi-dirigée	57
3.2.6 Rapport de laboratoire.....	59

3.2.7 Les fiches synthèses (questionnaire ouvert, entrevue semi-dirigée et rapport de laboratoire)	59
3.2.8 Verbatims et transcription	59
3.3 Description des indicateurs	62
3.3.1 Indicateurs de raisonnement	62
3.3.2 Indicateurs secondaires de raisonnement	64
3.3.3 Descripteurs de raisonnement	69
3.3.4 Indicateur primaire de raisonnement	71
3.3.5 Indicateurs de changement conceptuel	72
3.3.6 Indicateurs secondaires de changement conceptuel	73
CHAPITRE 4 : DISCUSSION	77
4.1 Étude de la logique propositionnelle et du raisonnement	78
4.1.1 Indicateur et raisonnement analogique	79
4.1.2 Connecteurs de propositions	79
4.1.3 Raisonnement conditionnel	82
4.1.4 Raisonnement covariant et causal	84
4.1.5 Inférences	89
4.1.6 Raisonnement déductif	93
4.1.7 Raisonnement inductif	95
4.2 Raisonnement scientifique	101
4.2.1 Supposition	103
4.2.2 Références	106

4.3 Changement conceptuel.....	110
4.3.1 Préconceptions.....	110
4.3.2 Interrogation	112
4.3.3 Conflit cognitif	114
4.4 Limites de l'étude	121
4.4.1 Questionnaire des préconceptions	121
4.4.2 Transcription et verbatims.....	121
CHAPITRE 5 : CONCLUSION.....	124
5.1 Retour sur les objectifs de recherche	125
5.2 Retombées pédagogiques et didactiques	128
LISTE DE RÉFÉRENCES.....	135
LISTE DES APPENDICES	144
<i>Appendice A Programme Sciences de la nature au Collège Shawinigan</i>	<i>145</i>
<i>Appendice B Formulaire de consentement éclairé.....</i>	<i>147</i>
<i>Appendice C Mises en situation d'expériences de laboratoire ouvertes.....</i>	<i>150</i>
<i>Appendice D Questionnaires ouverts sur les préconceptions.....</i>	<i>154</i>
<i>Appendice E Exemple de fiche synthèse</i>	<i>161</i>
<i>Appendice F Questionnaire sur les perceptions des étudiants des expériences de laboratoire ouvertes</i>	<i>173</i>

Liste des tableaux

Tableau 1 Catégorisation des méthodes d'expérimentation en laboratoire	21
Tableau 2 Table de vérité des principaux connecteurs binaires, à partir de la validité de chacune des propositions « p » et « q » menant à l'inférence « r »	26
Tableau 3 Table de covariations (Zimmerman, 2005)	30
Tableau 4 Signes de ponctuation utilisés dans les verbatims	60
Tableau 5 Exemple de transcription	61
Tableau 6 Grille d'indicateurs pour le raisonnement	62
Tableau 7 Grille d'indicateurs pour le changement conceptuel.....	85
Tableau 8 Tableau des résultats du graphique de Cindy et Mélanie.....	95

Liste des figures

Figure 1 Distribution des cours de physique dans le programme Sciences de la nature	8
Figure 2 Déroulement sommaire d'une situation d'apprentissage pendant l'expérience de laboratoire.....	19
Figure 3 Structure du raisonnement déductif.....	33
Figure 4 Structure du raisonnement inductif	34
Figure 5 Évolution des concepts scientifiques.....	36
Figure 6 Déroulement d'une expérience de laboratoire ouverte.....	54
Figure 7 Détails du raisonnement inductif.....	98
Figure 8 Détails du raisonnement déductif.....	99
Figure 9 Processus scientifique selon les deux grands modes de raisonnement.....	100
Figure 10 Exemple de préconceptions sur la propagation du son.....	111
Figure 11 Évolution des préconceptions dans une expérience de laboratoire ouverte portant sur le pendule simple.....	117
Figure 12 Structure inductive d'utilisation des expériences de laboratoire.....	129
Figure 13 Structure déductive d'utilisation des expériences de laboratoire.....	130

Remerciements

Mon premier remerciement s'adresse à Monsieur Rodolphe Toussaint, mon directeur de recherche, à qui j'exprime toute ma gratitude. Je le remercie pour le temps qu'il m'a offert, ses conseils judicieux et sa direction très bien dosée entre rigueur, protection et dépassement.

Je veux aussi remercier Denis Lamy et Martine Trudel, deux collègues et amis du Laboratoire d'études et de recherches transdisciplinaires et interdisciplinaires en éducation (LERTIE), pour les discussions enrichissantes et stimulantes.

Je ne peux passer sous silence tous les étudiants de deuxième cycle que j'ai eu la chance de côtoyer durant cette aventure. Je pense entre autres à Élisabeth, Berthe, Stéphanie et Caroline. Merci les filles!

Je veux aussi remercier les gens qui ont pris le temps de vérifier la validité de mes questionnaires et qui ont accepté d'évaluer ce mémoire. Un grand merci aux professeures et professeurs Marie-Geneviève Seré de l'Université Paris Sud XI, Sonia Lefebvre, Corneille Kazadi de l'Université du Québec à Trois-Rivières et Ghislain Samson de l'Université de Sherbrooke.

Merci également à tous les étudiants du Collège Shawinigan qui ont participé en très grand nombre et avec enthousiasme à cette recherche.

Je dédie ce mémoire à mes parents, Ginette et Claude, pour leur amour inconditionnel et leur support indéfectible.

Avant-propos

En réponse aux limites désormais reconnues des expériences de laboratoire scientifique fermées (Morin, 1997; Shepardson, 1997; Giordan, 1998; Seré, 2002), la présente étude se fixe pour objectif de mieux comprendre les apports potentiels des expériences de laboratoire ouvertes dans le cadre d'un cours de sciences de la nature du point de vue du raisonnement scientifique et du changement conceptuel.

Le mémoire est présenté en cinq chapitres. Le chapitre 1 de la problématique aborde le débat actuel entourant les processus cognitifs impliqués dans les expériences de laboratoire.

Le chapitre 2 permet de circonscrire la notion d'expérience de laboratoire. Il se poursuit par la présentation de la logique propositionnelle qui mène à la définition du raisonnement scientifique et du changement conceptuel, soit les processus cognitifs retenus.

L'explicitation des étapes de la collecte de données s'effectue au chapitre 3. Ce chapitre introduit également les indicateurs choisis pour la recherche et présente la démarche relative à l'analyse de contenu réalisée.

Le chapitre 4 aborde les limites et la portée des indicateurs sélectionnés. C'est à partir de ces indicateurs que s'articule l'argumentaire de la présence de raisonnements polymorphes, telles la déduction, l'induction, la covariation et la conditionnalité. L'étude sur le changement conceptuel, quant à elle, s'appuie sur des indicateurs supplémentaires et sur la présence de préconceptions.

La conclusion du mémoire au chapitre 5 synthétise les apports de la thèse en répondant aux questions de recherche initiales, en discutant de ses retombées pédagogiques et en soulevant des pistes de recherche.

Problématique

CHAPITRE 1

Ce chapitre débute par une mise en contexte qui aborde l'historique des collèges d'enseignement général et professionnel (cégeps) et du programme Sciences de la nature. Cette mise en contexte permet au lecteur de mieux apprécier la suite du chapitre, qui porte sur la définition du problème et des questions de recherche.

1.1 Mise en contexte

La mise en contexte aborde l'évolution globale des cégeps depuis leur création, pour ensuite se pencher sur le cas particulier du programme Sciences de la nature. Elle se termine par une présentation du rôle des expériences de laboratoire dans ce programme, et par une description du cours de physique dans lequel se déroule cette recherche.

1.1.1 Survol de l'historique des cégeps

Les cégeps ont été créés en 1967, à la suite des recommandations de la commission Parent. Ils ont été fondés ...

... pour répondre aux besoins de scolarisation du Québec en offrant un accès élargi à l'enseignement supérieur. Leur mission première, telle que définie par la loi qui les régit, est de mettre en œuvre des programmes d'études préuniversitaires et techniques (Fédération des cégeps, 2006).

Sur le plan pédagogique, les programmes élaborés avaient pour objectif d'accumuler un ensemble de connaissances additionnées tout au long du parcours collégial (Pôle de l'Est, 1996).

La première modification notable des programmes survient quelques années plus tard afin d'accentuer la spécialisation des étudiants. Ceci mène en 1975 à la suppression

de cours de formation générale et à l'ajout de cours en formation spécifique. C'est au cours de cette période qu'émerge la notion de programme par objectifs afin de tenir compte des besoins du monde du travail (CSE, 1975).

De 1975 à 1990, les principales modifications apportées aux programmes tendent à apporter une meilleure accessibilité à la formation postsecondaire, avec des programmes de plus en plus cohérents et polyvalents (Conseil des collèges, 1990).

À partir de 1993, alors que l'éducation pour tous semble assurée, le sujet des régimes pédagogiques est abordé. Le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science (MESS, 1993) décide de doter les cégeps de trois grandes orientations qui demeurent toujours d'actualité : intégrer des approches programme, accentuer l'interdisciplinarité et implanter une approche par compétences (APC).

Dans les programmes actuels, l'interdisciplinarité a fait un grand pas en avant avec l'instauration d'une épreuve synthèse de programme (ESP) en 1998. Quant à l'approche par compétences, elle est intégrée de plus en plus dans les classes, mais elle est retardée par une mauvaise compréhension du sujet par les professeurs, qui reçoivent peu d'informations et n'obtiennent pas l'encadrement adéquat (Haince, 2000).

Comme on le constate, les cégeps sont dans un processus de renouveau pédagogique important. Les orientations du MESS sont en train de redéfinir les situations pédagogiques mises en place par les professeurs dans leur classe afin de les adapter au contexte du renouveau pédagogique. Les professeurs du programme Sciences de la nature n'y font pas exception.

1.1.2 Survol de l'historique du programme Sciences de la nature

Le programme préuniversitaire des sciences de la nature a été créé en 1967 avec la mise en place des cégeps. Jusqu'en 1993, il a porté le nom de Sciences pures et de la santé. L'unique révision du programme a débuté en 1978 et s'est étalée sur quatorze ans. Les premières grandes orientations ont été proposées après dix ans de travail, en lien avec la continuité des apprentissages et la polyvalence dans la formation.

Les quatre dernières années de révision ont permis de proposer en 1992 une grille de cours temporaire à valider dans les cégeps avant son adoption finale. Le but de la validation consistait à préciser comment appliquer les lignes directrices du programme de 1992 et susciter l'émergence de nouvelles approches pédagogiques MEQ (2000).

Des projets d'expérimentations plus orientés ont eu lieu de 1994 à 1997 dans six cégeps de la province afin d'étudier les potentialités et difficultés qui entourent l'arrimage secondaire-cégep-université : l'approche par compétences et l'approche-programme (MEQ, 2000).

Le programme Sciences de la nature

Le programme actuel a vu le jour en 1998 dans le but de préparer les étudiants pour l'université. Il s'étale sur une période de quatre sessions et s'échelonne sur deux ans.

Le programme Sciences de la nature au collégial a pour objet de donner à l'étudiant ou à l'étudiante une formation équilibrée, intégrant les composantes de base d'une formation scientifique et d'une formation générale rigoureuse, les rendant aptes à poursuivre des études universitaires en sciences pures, en sciences appliquées ou en sciences de la santé (MELS, 2007)

Les cours offerts se subdivisent en deux blocs, soit, d'une part, la formation générale commune et complémentaire de 45 crédits, et, d'autre part, la formation spécifique de 60 crédits. Une grille de cours typique a été mise en Appendice A (Collège Shawinigan, 2006).

Dans le programme Sciences de la nature, plus de 360 heures sont consacrées aux expériences de laboratoire. Le total représente 40 % des heures contacts de la formation spécifique et 23 % de la formation totale. Cette position est d'ailleurs similaire à ce que suggère la National Science Teacher Association aux États-Unis, qui recommande qu'un minimum de 40 % de la formation spécifique soit effectué en situation d'expérience de laboratoire (NSTA, 2006).

Ceci étant dit, aucun débat de fond n'a eu lieu sur le rôle des expériences de laboratoire dans le programme Sciences de la nature au Québec. Les seules orientations à ce sujet concernent les objectifs du programme, dans lequel on

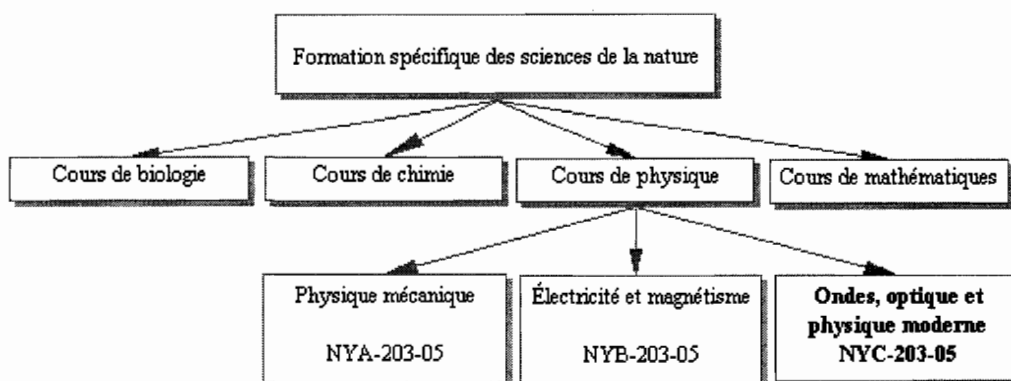
mentionne que l'étudiant ou l'étudiante doit être capable de réaliser les différentes étapes d'une démarche scientifique de type expérimental (MELS, 2007).

1.1.3 Cours de physique « Ondes, optique et physique moderne », 203-NYC-05

La formation spécifique inclut des cours de biologie, de chimie, de physique et de mathématiques, telle qu'illustrée à la figure 1. La présente recherche se déroule pendant les expériences de laboratoire du troisième cours de physique, intitulé « Ondes, optique et physique moderne ».

Figure 1

Distribution des cours de physique dans le programme Sciences de la nature



Le cours se déroule sur une session de 15 semaines pour un total de 75 heures, dont 45 heures sont consacrées à la théorie et 30 heures aux expériences de laboratoire.

1.2 Définition du problème

La mise en contexte permet d'observer que les cégeps, et en particulier le programme Sciences de la nature, se trouvent en situation de renouveau pédagogique. Nous avons vu que les expériences de laboratoire n'ont jamais été revues en fonction de la réorientation du programme. En tant qu'icône des sciences expérimentales, leur rôle a toujours semblé clair et indiscutable. Or, les recherches pédagogiques qui entourent les expériences de laboratoires effectuées ces dernières années amènent à penser qu'il est possible de les utiliser autrement et peut-être plus efficacement.

Cette section sur la définition du problème vise tout d'abord à présenter la raison historique pour laquelle les expériences de laboratoire ont été insérées dans les cursus scolaires. Ce détour est fondamental, car il permet de comprendre la forme qu'ont prises les expériences de laboratoire jusqu'à tout récemment, soit celles d'expérimentations orientées et fermées.

Ceci permettra également de comprendre pourquoi ces expériences de laboratoires ne favorisent que faiblement les processus cognitifs, tels le raisonnement et le changement conceptuel, de même qu'effectuer un plaidoyer en faveur de l'insertion d'autres types d'expériences de laboratoire qui encouragent les étudiants à s'engager davantage cognitivement.

1.2.1 Contexte d'émergence des expériences de laboratoire

Les expériences de laboratoire existent depuis très longtemps. Il n'y a qu'à penser aux expériences d'Aristote sur la botanique ou aux célèbres expériences de Galilée sur les plans inclinés.

C'est à partir du XIX^e siècle, après que la méthode scientifique hypothético-déductive de Newton ait été bien établie, que des scientifiques ont précisé le rôle spécifique qu'ils voulaient donner aux expériences de laboratoire. Auguste Comte indiqua à ce propos que l'un des critères importants de tout savoir scientifique est que ce dernier doit être confronté à l'expérience pour acquérir une certaine validité scientifique.

À partir de ce moment, l'objectif des expériences de laboratoire comme stratégie pédagogique a été calqué sur cette vision des sciences. Ainsi, les expériences de laboratoire ont servi essentiellement à valider empiriquement des lois et des théories à l'étude en classe.

Cette vision des expériences de laboratoire, que l'on qualifie d'approche fermée, a été le principal vecteur de l'expérimentation scientifique pendant plus d'un siècle et demi. Ce choix s'avère judicieux si l'on regarde les avantages qu'elle apporte dans l'apprentissage des sciences.

Par exemple, comme l'acquisition du savoir scientifique se fait selon une procédure définie respectant une méthode scientifique (OHERIC), les résultats obtenus permettent d'adhérer aux critères de reproductibilité des résultats. Cette

caractéristique constitue encore aujourd'hui un élément fondamental de la science, selon l'Association américaine des professeurs de physique (AAPT, 1999).

Un autre avantage non négligeable de l'approche fermée provient du fait que ces expériences de laboratoire donnent une belle occasion aux étudiants de confronter les théories et lois vues en classe (registre théorique) avec l'expérience (registre empirique).

1.2.2 Limitations des expériences de laboratoire fermées

Bien que ces caractéristiques rendent intéressante l'utilisation des expériences de laboratoire fermées, plusieurs critiques peuvent leur être adressées.

Un argumentaire s'est construit au cours des dernières années sur le potentiel didactique limité de ces expériences, qui peuvent empêcher les étudiants de réaliser des apprentissages majeurs (Giordan, 1998). Bien que des apprentissages procéduraux y soient fréquemment rencontrés, peu d'apprentissages sont réalisés dans une perspective épistémologique et conceptuelle (Berry, Gunstone, Loughran, Mulhall, 2001; Seré, 2002).

Les faibles apprentissages conceptuels réalisés pourraient s'expliquer par la difficulté chez les étudiants de bien comprendre l'expérience de laboratoire (Peter, 2005) et par un accent mis davantage sur le produit (validation) que sur le processus. On peut se questionner sérieusement sur les possibilités de changements conceptuels chez les étudiants dans cet environnement, d'autant plus que leurs préconceptions sont rarement prises en compte et que les conflits cognitifs ne semblent pas favorisés

(Shepardson, 1997). Le raisonnement scientifique tel qu'il sera défini dans cette recherche semblerait également difficile à détecter dans le cadre d'expériences de laboratoires fermées, eux qui nécessitent une évolution conceptuelle chez les étudiants.

Trumper (2003) résume sa vision des expériences de laboratoires fermées en disant qu'elles ne devraient même pas être enseignées dans les cours de sciences, car selon lui, elles découragent les étudiants, n'offrent pas de nouvelles connaissances sur la nature et présentent une mauvaise vision du processus scientifique. Pushkin (1997), lui, écrit que lorsque les manuels de laboratoire dictent aux étudiants quoi penser, comment penser et quand penser, les laboratoires perdent de leur impact pour l'apprentissage.

Or, comme il a été mentionné dans la mise en contexte, c'est généralement ce type d'expériences de laboratoire qui prévaut dans le programme Sciences de la nature au cégep. Marcotte (2004) dénonce d'ailleurs l'utilisation inadéquate de ce type d'expérience de laboratoire :

Dans les laboratoires actuels, la prise de données est laborieuse et l'induction expérimentale avec une hypothèse formulée par l'élève est rare. [...] Pour sauver du temps, le professeur procède souvent de manière déductive et prend un raccourci en proposant lui même le protocole (p. 18).

Cette limitation de l'induction expérimentale constitue en soi un argument suffisant pour trouver des alternatives favorisant une plus grande variété de raisonnements en situation d'expérience de laboratoire. De plus, sachant que les expériences de laboratoires fermées n'encouragent pas les apprentissages conceptuels, nous croyons

que le temps est venu de revoir la façon de concevoir les expériences de laboratoire, afin de les rendre plus efficaces en terme d'apprentissages et de raisonnements.

1.2.3 Une alternative possible, les expériences de laboratoire ouvertes

Une alternative aux expériences de laboratoire fermées propose de placer les étudiants au coeur de leur apprentissage, afin qu'ils remettent constamment en question leur compréhension des phénomènes. Ces expériences de laboratoire, dites ouvertes, ont comme principes fondateurs que si les étudiants s'approprient l'expérience de laboratoire en formulant leurs propres hypothèses de départ et en réalisant eux-mêmes leur expérimentation, leurs raisonnements et leurs apprentissages seront plus profonds et variés.

Une étude exhaustive de la documentation livre peu de recherches qui se sont intéressées aux apports des expériences de laboratoire ouvertes sur le raisonnement scientifique. On peut cependant supposer que les apports de ces expériences de laboratoire pourraient être substantiels sur le raisonnement, si l'on observe leur déroulement. Comme l'expérience de laboratoire ouverte s'appuie sur des discussions verbales dans chaque équipe, il est possible pour le professeur (et le chercheur) de percevoir plus facilement les raisonnements effectués. Les discussions inter-équipe à la fin de l'expérimentation permettent également une verbalisation et une critique des raisonnements.

Dans l'étude du changement conceptuel, ces mêmes discussions permettent de confronter les préconceptions des étudiants entre elles et favorisent donc l'apparition de conflits sociocognitifs (Joshua & Dupin, 1993). De plus, Westbrook et Rogers

(1996) indiquent que l'autonomie représente un aspect important pour l'émergence de changements conceptuels, ce que favorise ce type d'expériences de laboratoire, étant donné leur structure ouverte.

Comme le raisonnement scientifique et le changement conceptuel n'ont que peu été étudiés dans un cadre d'expérience de laboratoire et encore moins dans un contexte d'expérience de laboratoire ouverte, ce sont ces deux processus cognitifs qui nous intéressent dans ce mémoire.

Il semble pertinent de vouloir mieux comprendre les modes de raisonnements et les processus menant à un changement conceptuel chez les étudiants pendant une expérience de laboratoire. Comme ces dernières sont encore jugées inefficaces par rapport aux sommes investies pour leur mise en fonction (LSE, 2003), il est justifié de vouloir comprendre le potentiel réel de cette stratégie pédagogique. Nous pensons que la description et la compréhension des processus cognitifs impliqués pendant les expériences de laboratoire permettront éventuellement de mettre en place des moyens plus appropriés pour favoriser l'apprentissage avec cette stratégie pédagogique. C'est dans cette optique que sont énoncées les questions de recherche de la prochaine section.

1.3 Les questions de recherche

1^{re} question :

Les expériences de laboratoire ouvertes permettent-elles à des étudiants collégiaux de développer des raisonnements scientifiques ?

Sous-question :

De quelle nature sont les raisonnements effectués par ces étudiants dans le cadre d'expériences de laboratoire ouvertes en physique ?

Concernant les changements conceptuels, sachant qu'ils sont difficiles à observer, les préconceptions des étudiants seront tout d'abord mises en évidence. Une fois qu'elles auront été obtenues, il sera possible se demander, à partir de l'évolution de ces préconceptions :

2^e question

Les expériences de laboratoire ouvertes incitent-elles des étudiants collégiaux (17-18 ans) à opérer des changements conceptuels ?

Sous-question :

Quelles catégories de changements conceptuels peuvent être décelées chez ces étudiants lors d'expériences de laboratoire ouvertes sur le mouvement harmonique simple en physique ?

Pour bien répondre à ces questions, un cadre conceptuel approfondissant les principaux concepts énoncés dans la problématique est présenté dans le prochain chapitre. Entre autres, il sera question des principaux courants du changement conceptuel et de la logique propositionnelle, qui servira de fondement à l'étude du raisonnement.

Cadre conceptuel

CHAPITRE 2

Le chapitre débute avec l'explication de la stratégie pédagogique dans laquelle sont observés les processus cognitifs, soit les expériences de laboratoire. Les cas des expériences de laboratoire fermées et ouvertes sont présentés, en s'attardant davantage aux seconds, étant donné qu'ils feront l'objet de la présente recherche.

Il sera ensuite question de la logique propositionnelle, qui mènera naturellement à l'étude du raisonnement et des conditions pour lesquelles il devient scientifique. Le cadre conceptuel se termine avec la présentation du changement conceptuel et de ses principaux courants.

2.1 Le concept d'expérience de laboratoire

Au sens large, l'expérience peut se définir comme une relation entre un sujet et le réel. C'est par cette interaction qu'il est possible pour un étudiant d'extraire le savoir de la réalité. Quant à la validité du savoir obtenue, Dewey (1938-1967) indique qu'elle dépend de l'étudiant, de ses objectifs et de ses compétences.

Ce qui précède prévaut pour la notion d'expérience en général. Par contre, les expériences de laboratoire ont leur propre mode de validation du savoir, particulièrement lorsqu'elles se situent dans un contexte d'apprentissage des sciences de la nature. Pour mieux en comprendre les particularités, il convient de définir précisément ce qu'est une expérience dans un contexte de laboratoire.

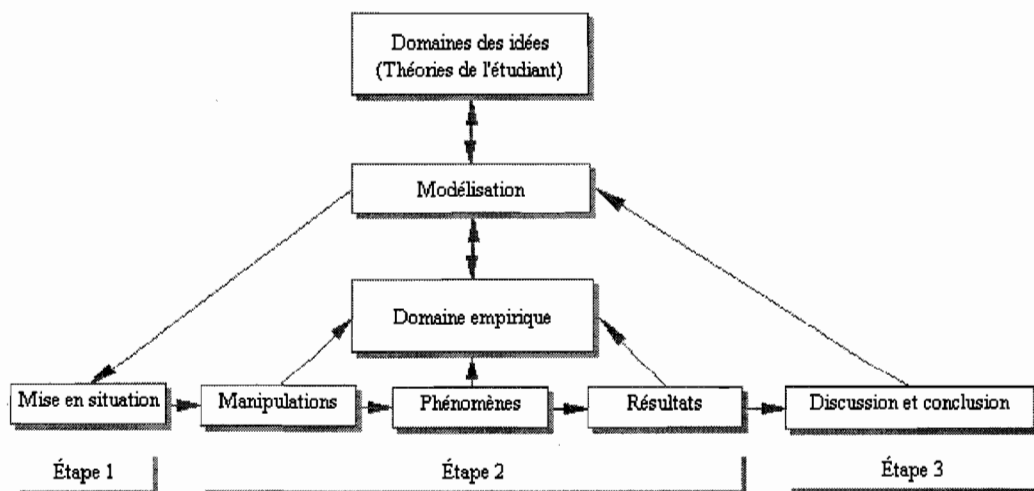
En fait, le terme *laboratoire* est distinct de l'expression *expérience de laboratoire*. Alors que la notion de *laboratoire* renvoie à un lieu physique dans lequel des chercheurs ou des étudiants utilisent des instruments de mesure afin d'obtenir des

données empiriques, l'expression *expérience de laboratoire* renvoie à l'interaction entre les étudiants et le laboratoire. Ainsi, on peut dire « un *laboratoire sur le phénomène de l'effet Doppler* en lien avec les instruments à mettre en place pour observer l'effet Doppler », et on parle de « l'*expérience de laboratoire* vécue par les étudiants en interaction avec le laboratoire sur le phénomène de l'effet Doppler ».

D'une manière générale, une expérience de laboratoire permet de visualiser un phénomène à l'étude. Ceci amène l'étudiant à confronter ses registres théorique et empirique. Bien que l'expérience de laboratoire en Sciences de la nature puisse prendre plusieurs formes, des traits généraux peuvent être tracés. Ils sont résumés à la figure 2.

Figure 2

**Déroulement sommaire d'une situation d'apprentissage
pendant l'expérience de laboratoire**



L'expérience de laboratoire se déroule habituellement en trois grandes étapes. Tout d'abord, il y a la préparation par la lecture et la réflexion sur la mise en situation initiale donnée par le professeur. Ensuite, les étudiants doivent réaliser une série de manipulations expérimentales afin d'observer le phénomène à l'étude. Finalement, avec les résultats obtenus, ils peuvent conclure sur leur mise en situation de départ.

La conclusion est obtenue à partir de certains critères, afin d'assurer la validité et la scientificité de l'expérience de laboratoire. Entre autres, les étudiants tiennent compte de la dispersion, de la précision et de l'exactitude des résultats. Toussaint (1996) rappelle que les résultats ne sont pas bons ou mauvais en soi, mais permettent de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse de départ incluse dans la mise en situation.

Bien que cette structure soit générale à la plupart des types d'expériences de laboratoire, un critère permet de les différencier davantage : la liberté d'action accordée aux étudiants.

Liberté d'action pendant l'expérience de laboratoire selon Woolnough

La liberté d'action se définit en fonction du pouvoir décisionnel accordé aux étudiants pendant l'expérience de laboratoire. Woolnough (1991), un des premiers à introduire cette catégorisation, propose quatre degrés de liberté au laboratoire, allant de zéro à trois, comme montré au tableau 1. Au niveau zéro, le problème, la procédure et la conclusion sont spécifiées à l'avance, tandis qu'au niveau trois, tous sont le fruit des décisions des étudiants.

Woolnough (1991) sépare également les méthodes d'expérimentations en deux catégories : les méthodes d'expérimentations ouvertes et fermées.

Tableau 1
Catégorisation des méthodes d'expérimentations en laboratoire

Parties de l'expérience	Méthodes d'expérimentations fermées		Méthodes d'expérimentations ouvertes	
	0	1	2	3
Identifier et décrire l'objet de l'expérience	Professeur	Professeur	Professeur	Étudiants
Formuler l'hypothèse de l'expérience	Professeur	Professeur	Étudiants	Étudiants
Élaborer la procédure expérimentale	Professeur	Professeur	Étudiants	Étudiants
Analyser et tirer des conclusions	Professeur	Étudiants	Étudiants	Étudiants

2.1.1 L'expérience de laboratoire scientifique fermée

Dans les expériences de laboratoire fermées, l'enseignement est séquentiel et l'accent est mis sur le produit final de l'expérience, par exemple sur la validation d'une loi. Les chercheurs américains parlent de laboratoires recettes, les « cookbook labs » (Lochhead & Collura 1981; Shepardson, 1997; Claugh, 2002; Trumper, 2003; Peter, 2005), dans lesquels les étudiants suivent une procédure prédéterminée pour observer et pour tenter de comprendre un phénomène naturel. Ce type d'expérience met l'accent sur le fait de pouvoir suivre rigoureusement des étapes. Dans ce contexte, les bonnes manipulations devraient permettre de reproduire les théories existantes en démontrant leur validité.

Une vague de recherches basées sur l'« inquiry learning » tente actuellement de réformer les expériences de laboratoire fermées « cookbook labs » afin de permettre une plus grande implication des étudiants dans le processus d'investigation scientifique (Roth & Roychoudhury, 1993; Enger, 1998; Furtak, 2003; Marine, 2003; Grandy & Duschl, 2005; Polacek, 2005; NTSA, 2006). Issu des travaux de Dewey, le principal intérêt de ces laboratoires par investigation provient du fait que les étudiants ne connaissent pas la réponse au problème posé par le professeur et doivent la trouver en créant une série de manipulations.

Veermans, Lallimo et Hakkarainen (2005) suggèrent que cette approche est susceptible de favoriser une attitude plus positive envers l'apprentissage des sciences, en contribuant à augmenter l'intérêt et la motivation. Par contre, Kuhn, Black, Keselman et Kaplan (2000) indiquent que cette stratégie peut se révéler inefficace dans plusieurs cas et qu'il y aurait un manque de savoirs acquis chez les étudiants qui l'utilisent.

Les expériences de laboratoire par investigation se distinguent des expériences de laboratoires ouvertes par la nécessité qu'elles soient réalisées par les étudiants avant qu'ils aient assimilé la théorie sur le sujet. Bien qu'il soit possible de concevoir des expériences de laboratoire ouvertes et individualisées dans lesquelles les cours théoriques sur le sujet se déroulent après l'expérience de laboratoire, ce n'est pas une obligation.

2.1.2 L'expérience de laboratoire ouverte

Comparativement aux expériences de laboratoire fermées, les expériences de laboratoire ouvertes laissent les étudiants beaucoup plus libres dans leur apprentissage d'une démarche scientifique, permettant un écart par rapport à la méthode OHERIC. Par exemple, ils doivent eux-mêmes établir un protocole et, bien que différents thèmes aient été choisis par le professeur, on ne leur fixe pas une voie unique à suivre (Morin, 1997). Les étudiants formulent leurs questions et proposent leurs réponses, qu'ils devront vérifier en effectuant des manipulations qu'ils jugent pertinentes, le tout guidé par le professeur. Ce type d'expérimentation les place donc au cœur de leur apprentissage. Bien qu'aucune recherche ne vienne encore l'appuyer, on peut raisonnablement penser qu'elles permettent aux étudiants de développer davantage leur autonomie et leur créativité.

Dans une expérience de laboratoire ouverte, une mise en situation est présentée aux étudiants afin qu'ils puissent situer le cadre du laboratoire. Il peut s'agir d'une démonstration par le professeur, de lectures suggérées ou d'une question.

Parmi les mises en situation proposées, les étudiants peuvent choisir celle qui les rejoint particulièrement, en fonction de leurs intérêts et des conceptions initiales qu'ils souhaitent voir évoluer. Ainsi, le terme ouvert prend son sens dans la mesure où plusieurs voies peuvent être empruntées par les étudiants dans l'acquisition du savoir scientifique.

Après avoir sélectionné une situation, des discussions ainsi que des réflexions permettent aux étudiants de construire leur problématique à partir de lectures proposées.

Une fois la question principale déterminée dans la problématique et l'hypothèse formulée, la phase des manipulations peut s'enclencher. Elle ne se constitue pas simplement de procédures à exécuter, puisqu'au fil de l'expérimentation, les étudiants peuvent modifier leur cheminement en fonction des observations et des résultats obtenus. L'objectif consiste à refléter le plus justement possible la nature de l'expérimentation scientifique.

Les résultats sont ensuite analysés pour être présentés à d'autres équipes, qui vont émettre des critiques sur l'ensemble de l'expérience de laboratoire. Cette confrontation des résultats par les pairs est essentielle pour que le savoir puisse atteindre un certain niveau de scientificité, puisqu'il doit être accepté par une communauté scientifique (Orange, 2001; Lhoste 2005). Autre avantage par rapport aux expériences de laboratoires fermées, les conceptions initiales des étudiants continuent à évoluer après les phases des manipulations et de l'interprétation.

2.2. La logique propositionnelle

Le contexte des expériences de laboratoire ouvertes ayant été présenté, la discussion suivante, portant sur le raisonnement, peut s'amorcer à l'aide de la logique propositionnelle. Une fois cette notion précisée, le raisonnement est défini et des catégories sont identifiées.

2.2.1 Logique propositionnelle et inférence

Les syllogismes aristotéliens constituent une entrée incontournable pour l'étude de la logique propositionnelle et du raisonnement. Un syllogisme contient deux prémisses et une inférence :

Prémisse « p » : Une accélération est causée par une force.

Prémisse « q » : Une accélération amène une variation de vitesse.

Inférence « r » : Une force cause une variation de vitesse.

On peut reprendre ce syllogisme en termes de logique propositionnelle, si l'on souscrit à l'idée que le raisonnement humain suit une logique sémantique. Ainsi, il est possible de symboliser le syllogisme précédent de cette façon :

Si « p » et « q », alors « r ».

Les prémisses « p » et « q » ainsi que l'inférence « r » prennent alors le vocable de propositions logiques. La proposition « r » peut être considérée comme une inférence dans cette structure s'il y a présence de connecteurs entre les propositions. À cet effet, les conjonctions de coordination peuvent agir en tant que connecteurs.

Concernant la validité des inférences énoncées, elle s'évalue selon deux critères, soit en regardant la véracité intrinsèque des propositions menant à l'inférence (sémantique) et en vérifiant l'exactitude du connecteur choisi en regard du sens global du syllogisme (syntaxe).

Si les deux critères sont respectés, l'inférence devient valable et il est possible d'établir une table de vérité des propositions, comme celle présentée au tableau 2.

Tableau 2

Table de vérité des principaux connecteurs binaires, à partir de la validité de chacune des propositions « p » et « q » menant à l'inférence « r »

Validité des propositions	VV	VF	FV	FF
Types de syllogisme				
Conjonction p et q	V	F	F	F
Disjonction p ou q	V	V	V	F
Alternative (disjonction exclusive) p ou q, mais pas les deux	F	V	V	F
Implication (conditionnel) Si p alors q (p seulement si q)	V	F	V	V
Équivalence (biconditionnel) Si et seulement si p alors q	V	F	F	V
Incompatibilité Pas à la fois p et q	F	V	V	V
Rejet ni p ni q	F	F	F	F

La première ligne du tableau 2 présente la validité des propositions. Par exemple, VV pour le premier type de syllogisme (conjonction) indique que les propositions « p » et « q » sont vraies. La mise en relation de ces deux propositions donne une troisième proposition « r », également vraie.

On peut prendre l'exemple suivant pour illustrer ce syllogisme :

« Si tu vas à tes cours (p) et que tu étudies (q), alors tu réussiras ton examen (r) ».

Si les propositions « p » et « q » sont vraies, alors l'inférence « r » le sera également.

2.2.2 Critique à l'égard de la logique propositionnelle

L'étude des inférences et du raisonnement serait triviale si les étudiants raisonnaient précisément et explicitement selon cette table de vérité propositionnelle. Tel n'est pas le cas, car, bien qu'au plan opératoire et mathématique la logique propositionnelle soit bien définie, le langage parlé, de par sa richesse et ses subtilités, comporte des particularités le rendant plus complexe à analyser.

Un des problèmes concerne les connecteurs propositionnels et la pluralité des significations qu'ils peuvent prendre selon les situations. Par exemple, le connecteur « *ou* » peut être inclusif ou exclusif. Le terme exclusif renvoie à un choix (un *ou bien* l'autre), tandis que le *ou* inclusif s'emploie dans le cas de proposition (« *p* » ou « *q* » est vraie, alors « *r* »).

Le connecteur *et* implique soit un ordre temporel, soit un ordre séquentiel. Par exemple, si quelqu'un ordonne « Cours 100 mètres et lance un marteau » ne donnera pas le même résultat que « Lance un marteau et cours 100 mètres ». Autrement dit, la proposition globale n'est pas toujours symétrique dans son sens.

Pour pallier ces lacunes et mieux évaluer la validité des inférences, la théorie des modèles mentaux propose d'étendre la logique propositionnelle en regardant plutôt le sens donné globalement aux propositions, pour ensuite les évaluer singulièrement (George, 1997).

Bien que les modèles mentaux permettent de répondre à une grande partie des lacunes de la logique propositionnelle, certains cas restent problématiques dans le

langage parlé. Souvent, les propositions sont omises sciemment ou involontairement dans un discours, ce qui rend difficile l'évaluation du raisonnement par une personne externe. Le chercheur fait alors appel au contexte et s'appuie sur le pragmatisme expérimental, tel que développé par Noveck (Noveck, 2002).

Prenons l'exemple suivant :

Marie-Ève : Tu viens déjeuner ?

Marc : Non, j'ai déjà mangé.

Ce dialogue contient peu d'informations, si l'on se fie seulement aux deux phrases présentes. Mais en s'attardant au message qu'a voulu transmettre Marc, on peut l'interpréter en ajoutant deux éléments supplémentaires à l'aide du pragmatisme (Noveck, 2002). *Primo*, Marc sous-entend qu'il a mangé récemment et *secundo*, il suppose que l'on ne déjeune qu'une seule fois par jour.

C'est avec ces trois outils, soit la logique propositionnelle, les modèles mentaux et le pragmatisme, que sera présenté le concept de raisonnement.

2.3. Le raisonnement

Tout d'abord, le raisonnement sera défini d'une manière générale. Ensuite, il sera contextualisé pour une situation d'expérience de laboratoire ouvertes, en présentant tous les types de raisonnements possiblement observables dans cet environnement didactique. L'explicitation des types de raisonnements se fera à partir de la logique propositionnelle dont il vient d'être question.

2.3.1 Définition générale

Le raisonnement, mécanisme d'élaboration des inférences, peut se définir comme un enchaînement de propositions ayant pour objectif de tenir un discours ou une argumentation cohérente sur un sujet donné. Le discours est préférablement organisé, car il tente d'expliquer ou de convaincre (Perelman & Olbrecht-Tyteca, 1958). Il peut être de nature conditionnelle, covariante, causale, analogique, inductive ou déductive (Leblanc & Widsom, 1972; Gauch, 2003).

2.3.2 Raisonnement conditionnel

Un raisonnement conditionnel se compose d'un ou de plusieurs antécédents qui seront mis en relation par des connecteurs de type *si-alors* pour produire une conséquence (inférence). Considérons la situation suivante :

Si je pince une corde de guitare (p), alors elle émet des fréquences sonores (q).

La proposition (p) est l'antécédent, alors que la proposition (q) est l'inférence.

Il n'y a que deux formes d'inférences valides liées au conditionnel : le *modus ponens* et le *modus tollens* (Noveck, 2002). Le *modus ponens* constitue le cas classique de l'inférence conditionnelle. Dès lors que l'antécédent « p » se trouve vérifié, alors le conséquent « q » se doit d'être vrai. Avec l'exemple précédent, dès que l'on vérifie que la corde de guitare est pincée (antécédent « p »), on peut inférer qu'il y a présence de fréquences sonores (conséquent « q »).

Le *modus tollens* se produit après la validation du *modus ponens*, si « p », alors « q ».

Le *modus tollens* énonce que lorsque « non-q » est vérifié, alors « non-p » est la conséquence. Dans l'exemple précédent, cela donnerait :

Comme il n'y a pas d'émission de fréquences sonores (q), alors la corde de guitare n'a pas été pincée (p).

2.3.3 Raisonnement covariant et causal

Le raisonnement covariant comporte, tout comme le raisonnement conditionnel, un minimum de deux propositions mises en relation.

Le tableau 3 présente une table inspirée de Zimmerman (2005) qui montre les types de covariations pouvant se produire pendant l'expérience de laboratoire.

Tableau 3

Table de covariations (Zimmerman, 2005)

Antécédent (p)	Conséquent (q)	
	<i>Présent</i>	<i>Absent</i>
<i>Présent</i>	A	B
<i>Absent</i>	C	D

Par exemple, pour illustrer le cas A de la table de covariations, on peut écrire l'énoncé suivant :

La fréquence varie (p) et le son varie (q).

La proposition (p) est l'antécédent et la proposition (q), le conséquent. Pour montrer qu'il y a causalité entre l'antécédent et le conséquent, toute la table de covariation doit être vérifiée. Une fois que cela a été fait, il ne reste qu'à refaire statistiquement les essais afin de s'assurer que le raisonnement est réellement causal (Zimmerman, 2005).

Catégories de raisonnements causals

La causalité démontrée à partir des tests de covariations, il est possible de catégoriser le raisonnement causal en trois formes, soit la causalité simple, formelle ou circulaire.

La causalité simple peut être définie comme l'attribution de l'existence d'un phénomène-effet à un phénomène-cause qui lui est antérieur (Toussaint, 1996). Ce type de raisonnement causal est le plus fréquemment rencontré. Un exemple peut être cité, en tenant pour acquis que toutes les situations covariantes ont été étudiées.

La force que je transmets à la bicyclette (p) me permet d'obtenir une accélération (q).

Le « phénomène-cause » est ici la proposition (p), alors que le « phénomène-effet » est la proposition (q).

Les causalités formelles, quant à elles, nécessitent des relations formelles entre les concepts d'un système. Ainsi, lorsque l'un des concepts du système varie, on peut prévoir les effets sur d'autres concepts à l'aide d'une loi ou d'un principe. Les principes de conservation et les lois en physique en sont de bons exemples. Par

exemple, à l'aide du principe d'action-réaction de Newton, on sait que si Serge exerce une force sur un mur, le mur produira en retour une force égale sur Serge.

Il peut se produire dans certains cas des situations dites de raisonnement circulaire, où lorsque la cause a donné un effet, celui-ci réagit en modifiant à son tour la cause. Ceci se produit par exemple en électricité alors que l'on charge un condensateur à l'aide d'une certaine intensité du courant. Plus le courant est élevé, plus le condensateur se charge rapidement, mais en conséquence, cela produit une diminution plus rapide du courant dans le circuit.

2.3.4 Raisonnement analogique

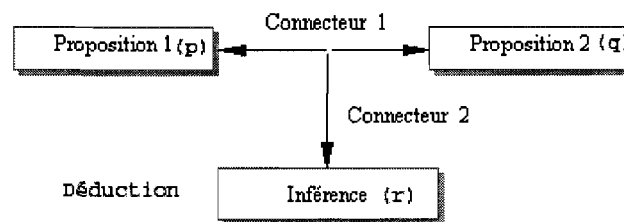
Le raisonnement analogique consiste à « transposer une relation efficace pour un domaine connu à un domaine inconnu » (Toussaint, 1996). Ce type de raisonnement s'appuie généralement sur des comparaisons. Il prend les éléments similaires dans deux situations distinctes pour donner une explication dans l'une de ces situations. L'efficacité de l'utilisation d'une analogie repose sur la capacité des étudiants à percevoir et à interpréter adéquatement les similarités entre les deux situations (Harrison & De Jong, 2005).

2.3.5 Raisonnement déductif

Le raisonnement déductif, au même titre que le raisonnement inductif, requiert la présence d'une structure plus complexe et élaborée que d'autres types de raisonnements. Il consiste en un minimum de deux propositions liées entre elles et provenant de concepts, de lois ou de données expérimentales, ayant pour objectif

d'inférer une troisième proposition. Cette proposition est un cas particulier de la liaison des deux premières, et se nomme la déduction (Leblanc & Widsom ,1972; Gauch, 2003). La figure 3 résume la structure du raisonnement déductif.

Figure 3
Structure du raisonnement déductif



Prenons un exemple pour illustrer le raisonnement déductif.

L'accélération est inversement proportionnelle à la masse, selon la loi
 $F = ma$ (p)

J'ai diminué la masse d'une automobile de moitié (q).

Je devrais pouvoir avoir deux fois plus d'accélération (r)

La proposition (p) est une référence théorique, soit la deuxième loi de Newton. Elle est liée à une référence expérimentale, soit la diminution de moitié de la masse (q). En mettant les deux propositions en relations, il est possible d'émettre une déduction, soit la proposition inférentielle (r). Cette proposition est un cas particulier de la mise en relation des deux premières.

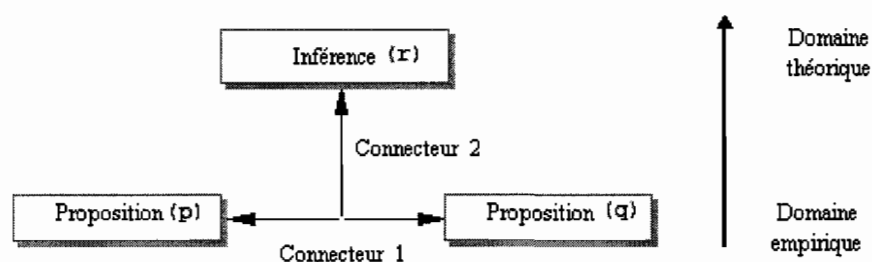
Comme on peut le constater, dans un raisonnement déductif, l'objectif est de passer des principes généraux théoriques à une validation de situations particulières (Fortin, & Filion, 2006). Si les deux propositions de départ sont valides, alors la déduction le

sera également. Cette dernière est souvent implicite et ne donne pas d'informations supplémentaires à celles contenues dans chacune des propositions de départ. En fait, l'intérêt de faire un raisonnement déductif réside dans la validation ou l'infirmerie des références utilisées (lois, concepts, etc.).

2.3.6 Raisonnement inductif

Le raisonnement inductif consiste également à la mise en relation d'au moins deux propositions afin d'en inférer une troisième, l'induction. Dans ce type de raisonnement, les propositions de départ proviennent de faits singuliers et d'observations (Toussaint, 1996; Fortin et coll., 2006). Les propositions émises peuvent être véridiques prises séparément, toutefois, leur mise en relation n'est pas nécessairement vraie. La figure 4 présente la structure du raisonnement inductif.

Figure 4
Structure du raisonnement inductif



Voici un exemple de raisonnement inductif qui pourrait être observé pendant une expérience de laboratoire.

Si la puissance émise par le haut-parleur est de 120 W, on obtient 20 décibels en audition (p)

Lorsque la puissance émise par le haut-parleur est de 140 W, on obtient 40 décibels en audition (q)

Les décibels perçus dépendent de la puissance émise (r).

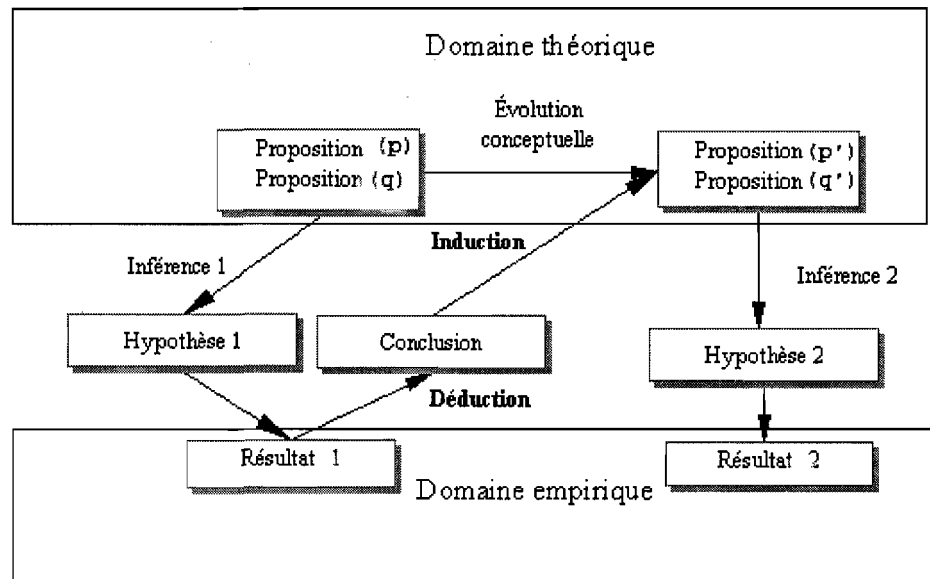
Les propositions (p) et (q) sont des énoncés singuliers. Leur mise en relation permet d'inférer une loi générale (r) limitée toutefois par le nombre de cas étudiés.

Pour généraliser les connaissances acquises ou les lois énoncées, il faut trouver d'autres cas qui permettent la généralisation. Popper (1934-1973) mentionne la difficulté d'assurer la valeur universelle de lois provenant d'énoncés singuliers ; aussi nombreux soient les cas étudiés, ils ne justifient pas entièrement la conclusion, car une exception pourrait toujours s'avérer.

L'induction est au cœur du travail des scientifiques (Kuhn, Amsel & O'Loughin, 1988). En effet, la production de nouvelles connaissances après la mise en relation d'observations pendant l'expérience de laboratoire est fréquente dans le travail de recherche.

D'aucuns suggèrent qu'une démarche dialectique entre l'approche inductive et déductive de l'expérience de laboratoire serait souhaitable, car elle représenterait mieux le travail scientifique (Box, Hunter & Hunter, 1978; Gauch, 2003). La figure 5 schématise cette vision dialectique.

Figure 5
Évolution des concepts scientifiques



À la suite de l'émission d'une inférence basée sur des propositions considérées comme vraies, les étudiants voudront évaluer l'hypothèse qu'ils ont émise en obtenant des résultats empiriques. De là, pourront-ils alors déduire sur la validité de l'hypothèse et des propositions.

Une deuxième expérimentation pourrait alors prendre place par une restructuration des propositions (concepts) et de la conclusion de l'expérience précédente afin d'*induire* une deuxième hypothèse, qui mènerait à de nouveaux résultats et à une nouvelle conclusion. Ces allers-retours déductifs et inductifs favorisent l'investigation scientifique et l'avancée des connaissances.

2.4 Le raisonnement scientifique

Le raisonnement, par la déduction et l'induction, est un processus permettant une avancée dans l'acquisition des connaissances, tant pour les étudiants que pour les scientifiques. On peut alors se demander s'il y a une différence entre le savoir acquis par les étudiants faisant des raisonnements dans une expérience de laboratoire et le savoir construit dans les mêmes conditions par des scientifiques. Autrement dit, comment peut-on s'assurer de la scientificité des raisonnements effectués par les étudiants dans un contexte d'expérience de laboratoire ? C'est à cette question que se dédie cette section.

Deux caractéristiques ont été retenues comme critères pour assurer la validité d'un raisonnement scientifique. Tout d'abord, une méthode expérimentale doit être suivie dans la réalisation de l'expérience de laboratoire, étant donné sa nature empirique. Ensuite, une évolution conceptuelle doit être observée.

Méthode expérimentale

Le premier critère, celui de l'utilisation de la méthode expérimentale, implique que l'activité cognitive des étudiants dans un contexte d'expérience de laboratoire soit soumise à certaines normes. Ce critère permet aux étudiants de suivre une démarche rigoureuse assurant généralement une plus grande validité dans les résultats.

Gauch (2003) propose qu'une méthode expérimentale doit minimalement permettre de formuler des hypothèses et de les vérifier. Elle doit également favoriser l'interaction entre les données et la théorie et se produire dans un environnement

contrôlé avec possibilité d'obtenir des résultats similaires dans un contexte similaire. Comme autres habiletés d'une méthode expérimentale, reprenons Giordan (1998), qui en énumère quelques-uns : savoir repérer des grandeurs, rechercher des indicateurs, imaginer un dispositif expérimental, envisager des causes d'erreurs, etc.

Les données obtenues par l'expérience portent le nom de références empiriques. C'est à partir de ces résultats que les étudiants pourront effectuer les types de raisonnements précédemment définis. De plus, avec cette première condition remplie, ils pourront prétendre à une certaine scientificité dans leurs raisonnements.

Validité des propositions

Bien qu'être en mesure de suivre une méthode expérimentale soit un élément clé du raisonnement scientifique, il n'en reste pas moins que l'évolution des conceptions pendant l'expérience reste le point central de toute expérimentation scientifique.

Par conséquent, l'objectif de toute expérience de laboratoire consiste à produire des résultats permettant aux étudiants de confronter leurs préconceptions et leurs connaissances par rapport à un sujet donné. Ils émettent des hypothèses, font des manipulations, toujours dans le but de faire évoluer leurs concepts, théories et modèles.

Pendant l'expérience de laboratoire, les étudiants émettront des propositions, à l'intérieur desquelles des suppositions et des hypothèses seront suggérées, et des références seront amenées de manière à expliquer les phénomènes observés. Selon la

validité et la précision des propositions, il sera alors possible d'évaluer la scientificité du raisonnement. Élaborons sur les trois niveaux de scientificité des propositions.

Le niveau le moins élevé est la *supposition*. Les suppositions peuvent être constituées par la proposition en entier ou par une partie de cette dernière. On peut la considérer comme une hypothèse non justifiée.

Je pense que la lumière est une onde.

Cette proposition est une supposition. Son ton est incertain et elle n'est justifiée par aucun raisonnement ou aucune autre proposition.

Reprenons le même exemple, mais cette fois-ci en le justifiant. La proposition atteindra alors un niveau intermédiaire, celui de *l'hypothèse*.

Je pense que la lumière est une onde. (p)

Les ondes produisent un patron d'interférence. (q)

La lumière devrait produire un patron d'interférence. (r)

La proposition (p) acquiert le qualificatif d'hypothèse, car elle est justifiée par la proposition (q), qui est une référence théorique. De plus, une inférence (r) est produite par la liaison des propositions (p) et (q), permettant la vérification de l'hypothèse.

L'hypothèse diffère donc de la supposition par le cadre justificatif qui l'entoure. Autrement dit, elle est une supposition argumentée. Mais au même titre que la supposition, la véracité de l'hypothèse reste à être démontrée afin qu'elle acquière le statut de référence.

Le niveau le plus élevé est la référence théorique. Elle peut être un concept, une loi ou une théorie; sa caractéristique principale porte sur son caractère véridique par rapport au savoir scientifique. Dans une structure de syllogisme, on pourrait retrouver :

La force de frottement (p) augmente avec la force normale (q).

La force normale (q) augmente avec une masse (r) plus grande.

Une masse (r) plus grande amène une force de frottement (p) plus élevée.

Les trois concepts soulignés sont des références théoriques, de par la précision des termes. De plus, chacune des propositions prises indépendamment est également une référence, car elles sont toutes justes selon les théories actuelles de la physique.

En résumé, pour qu'il y ait raisonnement scientifique, les étudiants devront confronter les propositions émises dans une expérience de laboratoire, afin d'en vérifier la validité en termes de suppositions, d'hypothèses et de références.

Kuhn, Amsel et O'Loughin (1988) proposent trois caractéristiques générales définissant le raisonnement scientifique :

- Les théories naïves des étudiants évoluent constamment lorsque confrontées à l'expérience ou à de nouvelles informations;
- les processus d'évolution des théories sont généralisables;
- les évolutions cognitives entraînent des changements comportementaux chez l'individu.

Cette dernière caractéristique se rapproche sur plusieurs aspects de la notion de changement conceptuel. Nous venons de voir comment il est possible de spécifier un niveau de scientificité pour les propositions (suppositions, hypothèses et références) ; nous nous intéressons maintenant au changement conceptuel, qui observe comment l'étudiant fait évoluer leurs préconceptions pour tenir compte des nouvelles informations recueillies et ainsi tendre vers la scientificité. En vulgarisant, on peut dire que le raisonnement scientifique permet de cerner le niveau de scientificité des concepts et que le changement conceptuel étudie comment ces concepts évoluent vers la scientificité.

2.5 Le changement conceptuel

L'étude du changement conceptuel s'amorce avec la présentation des notions de concepts et de préconceptions. À partir de ces définitions, il est possible d'entreprendre l'étude des courants actuels du changement conceptuel. Le chapitre se termine par la présentation des concepts qui font l'objet de l'étude sur le changement conceptuel.

2.5.1 Concept

Un concept est une représentation mentale chez l'apprenant pour donner une réponse stable à l'environnement (Gowin, 1970). Ce processus est dynamique, en ce sens qu'il se forme en tenant compte des informations reçues par l'apprenant dans une situation donnée, et continue à se développer suivant les utilisations, les mises en relation et les raisonnements qui sont formés avec le temps. Il représente un nœud dans un réseau de relations, cohérent et organisé (Astolfi, 1997).

2.5.2 Préconceptions des étudiants

L'objectif de l'étude du changement conceptuel est de prendre en compte les préconceptions des étudiants en classe afin d'y ajouter de nouvelles connaissances ou de créer de nouveaux liens entre les concepts (Legendre, 2002). Ces préconceptions apparaissent sous plusieurs formes. Elles peuvent être de natures culturelles, revêtir la forme de croyances personnelles, religieuses ou être formées à partir de connaissances antérieures que possèdent les étudiants et qui proviennent d'un enseignement formel.

Les préconceptions chez les étudiants sont inévitables et rencontrées dans tout apprentissage. Elles sont enracinées plus ou moins profondément chez les étudiants et ceux-ci ne s'en déferont pas facilement (Joshua & Dupin, 1993; Toussaint, 2002).

Comme les étudiants les utilisent dans la plupart des situations auxquelles ils sont confrontés, il serait utopique de penser pouvoir simplement les supprimer et les remplacer par un savoir plus scientifique; les préconceptions permettent aux étudiants d'expliquer à leur façon les phénomènes qui les entourent.

On ne s'entend pas actuellement sur la forme que prennent les préconceptions chez les étudiants. Certains prétendent qu'une organisation structurée, dans des cadres théoriques naïfs, rassemble les préconceptions des étudiants (Vosniadou & Brewer, 1992; Vosniadou, 1994). Ces cadres théoriques sont susceptibles d'avoir un pouvoir explicatif limité, mais permettraient tout de même une explication minimale et suffisante pour les phénomènes rencontrés au quotidien. Ils évolueraient lorsque des

situations (didactiques ou de la vie quotidienne) plus complexes se présentent, ce qui provoquerait des changements conceptuels.

D'autres auteurs pensent plutôt que les préconceptions sont désorganisées, et qu'elles ne possèdent pas de liens entre elles (diSessa, 1993; 1996). Les individus seraient tout de même en mesure de fournir des explications phénoménologiques primaires (*p-prims*), qui constituent des explications contextualisées, mais qui n'ont aucun lien les uns avec les autres lorsque décontextualisées. L'essentiel, pour effectuer un changement conceptuel, serait alors de créer ces liens entre les concepts.

2.5.3 Conflit cognitif

Pour faire évoluer les préconceptions, un des moyens mis de l'avant par les chercheurs consiste à déstabiliser les étudiants face au savoir qu'ils possèdent, soit par un stimulus externe, soit par une prise de conscience personnelle d'une contradiction dans leur cadre théorique (Kuhn & Lao, 1998). Lorsque ceci se produit, l'étudiant se retrouve en situation de conflit cognitif. Ce conflit peut être provoqué en rupture ou en continuité avec les connaissances des étudiants (Duit, Goldberg & Niedderer, 1991).

Bien que séduisante à première vue, la notion de conflit cognitif a suscité de nombreuses critiques. Kuhn, Amsel et O'Loughin (1988) ont constaté, à la suite de plusieurs expérimentations, qu'il n'était pas nécessairement facile pour les étudiants de faire évoluer leurs préconceptions et qu'ils gardaient leurs croyances initiales, même lorsque confrontées à des données contradictoires.

D'autres auteurs suggèrent que le conflit cognitif ne serait pas un processus linéaire. Autrement dit, ce n'est pas parce qu'un étudiant perçoit correctement une situation de conflit cognitif qu'il acquerra nécessairement le bon concept scientifique (Limón & Carretero, 1999; Limón, 2001). En fait, la résolution du conflit dépend de l'aptitude des étudiants à reconnaître le conflit (Nussbaum & Novick, 1982) et à l'habileté du professeur à le mettre en évidence (Kang, Sharmann Noh & Koh, 2005).

Bien que la notion de conflit cognitif ne soit pas exempte de limites pour montrer la présence de changements conceptuels, il s'agit tout de même d'un indicateur important de leur présence.

2.5.4 Diverses conceptions du changement conceptuel

À partir des concepts de préconception et de conflit cognitif, il est possible de détacher les principaux courants liés au changement conceptuel. Dans notre recherche, nous avons décidé de retenir trois de ces courants, soit ceux de Vosniadou (1994), de diSessa (1993) et de Chi (1997). Ils sont présentés à tour de rôle dans cette section.

Cadre théorique et modèles mentaux selon Vosniadou

Pour Vosniadou et Brewer (1992) et Vosniadou (1994), les étudiants développent des théories explicatives sur le monde qui les entoure. Ces théories évoluent en fonction des phénomènes rencontrés et des expériences vécues. Notons que pour Vosniadou, le mot théorie est utilisé pour qualifier une structure relationnelle et explicative et non une théorie scientifique explicite et bien formée (Vosniadou, 1994).

Ces structures relationnelles, ou théories, pourraient évoluer selon trois modes précis :

1. **L'enrichissement** : une nouvelle information est ajoutée au cadre théorique existant, par simple accrétion. Par exemple, peu importe leur conception du mouvement de la Lune, les étudiants n'auront pas de difficultés à accepter que les taches sur la Lune soient des cratères.
2. **La révision d'une théorie spécifique** : admettre qu'il n'y a pas d'air sur la Lune est déjà plus difficile pour eux, si cela contredit une croyance établie.
3. **La révision du cadre théorique général** : il est plus difficile à accomplir. Par exemple, admettre que la Terre est une sphère alors qu'on a l'impression que le sol est somme toute plat et que la direction verticale est privilégiée.

Ces évolutions du cadre théorique sont présentées par ordre de complexité croissante pour les étudiants. Un autre point essentiel pour Vosniadou est la cohérence des étudiants dans leurs apprentissages. L'évolution de leurs théories doit leur permettre d'expliquer les phénomènes qu'ils rencontrent.

Primitives selon diSessa

diSessa suggère quant à lui que les étudiants invoquent des explications primaires acquises dans leur enfance ou par le passé pour expliquer les phénomènes. Ces explications sont distinctes pour chaque phénomène observé, et ne permettent qu'une explication locale et contextualisée (diSessa, 1993; 1996). Construire des systèmes explicatifs plus généraux consiste à assembler les éléments perçus selon des points communs dans les différentes situations (Legendre, 2002).

Ces systèmes, ou classes de coordination, renvoient à la notion d'intégration du savoir : les connaissances doivent être confrontées à plusieurs situations pour se construire. De cette construction émergeront des invariants, soit la définition opératoire du concept à l'étude, qui possède nécessairement un pouvoir explicatif plus grand (diSessa, 2004).

Selon ce cadre explicatif, les étudiants répondraient donc différemment en fonction des caractéristiques mises en évidence par l'expérience. Cet argument vient contredire les propos de Vosniadou, car le sujet ne serait pas toujours cohérent dans ses réponses (diSessa, 2004).

Catégories ontologiques selon Chi

Chi (1992) et Chi, Slotta et de Leeuw (1994) considèrent que les connaissances antérieures possèdent un pouvoir explicatif moindre, explicable par une mauvaise catégorisation ou sous-catégorisation ontologique des concepts. Lorsque les étudiants réussissent à restructurer adéquatement leurs concepts dans une bonne catégorie ontologique, le changement conceptuel s'effectuerait immédiatement, comparable au fameux « Eurêka ! » d'Archimède. Ainsi, il y aurait trois grandes classes ontologiques, soit les entités (objets/substances), les processus (événements/systèmes dynamiques complexes) et les états mentaux (les états émotionnels/les états cognitifs).

Ce courant a suscité certaines critiques, entre autres sur la sélection des catégories fondamentales de classification (Duit, 1999) et sur son applicabilité restreinte au cas du savoir scientifique, et non à une utilisation quotidienne (Buty & Cornuéjols, 2002).

2.5.5 Savoir savant conceptuel dans les expériences de laboratoire

Pour ajouter à la discussion entourant le changement conceptuel, les concepts disciplinaires du mouvement harmonique simple et des ondes transversales ont été retenus pour notre étude.

Ils sont présentés dans la prochaine section, de manière à assurer au lecteur une bonne compréhension de l'analyse, qui les reprend à certaines reprises.

Les concepts sont définis pour des étudiants de niveau collégial, en provenance du livre Benson (2005) et Halliday, Resnick et Walker (2004), deux livres de référence adaptés pour le cours « Ondes, optique et physique moderne » (203-NYC-05).

Mouvement harmonique simple

Le mouvement harmonique simple se définit comme un mouvement d'oscillation périodique autour d'un point d'équilibre dont la position, la vitesse et l'accélération peuvent être décrites en fonction du temps par une fonction de type sinusoïdale.

La période (T), en secondes, est définie comme le temps d'un aller et retour autour du point d'équilibre, alors que la fréquence (f) est le nombre d'allers et retours par seconde. Ces variables peuvent être reliées par l'équation suivante :

$$\omega = 2\pi/T = 2\pi f$$

Dans cette équation, ω correspond à la fréquence angulaire en radian par seconde.

Pour que le mouvement soit considéré comme harmonique *simple*, il doit posséder les caractéristiques suivantes :

1. Une amplitude du mouvement qui est constante dans le temps (pas de perte d'énergie);
2. la fréquence, la fréquence angulaire et la période sont indépendantes de l'amplitude;
3. le mouvement harmonique doit s'exprimer à l'aide d'une fonction sinusoïdale unique.

Cette théorie se concrétise dans deux mouvements, soit celui du pendule simple et du système masse-ressort.

Ondes stationnaires résonantes transversales

Les ondes sonores d'un instrument de musique peuvent être considérées comme des ondes stationnaires résonantes. Dans ce type d'onde, lorsqu'il y a résonance, on peut trouver les fréquences auxquelles il y aura la résonance à l'aide de l'équation suivante :

$$F_n = nv/2L = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad \text{avec } n=1,2,3,\dots$$

où :

- F_n correspond à la fréquence de résonance à l'harmonique n (Hz).
- n correspond au numéro d'harmonique;
- v correspond à la vitesse du son dans la corde (m/s);
- L correspond à la longueur de la corde (m);
- T correspond à la tension dans la corde (N);
- μ correspond à la masse linéique de la corde (kg/m);

La fréquence de résonance dépend donc de la longueur de la corde, de la tension de la corde et de sa densité linéique. Cette fréquence est celle que l'on entend lorsque l'on joue d'un instrument, par exemple en pinçant une corde de guitare. Ainsi, la corde de longueur « L », possédant une tension « T » et une densité linéique μ produira une fréquence précise et audible.

2.6 Les objectifs de recherche

À la suite de ce chapitre sur le cadre conceptuel de l'étude, il est possible de présenter les objectifs de recherche. Deux grands objectifs sont identifiés, un abordant le raisonnement et l'autre se rapportant au changement conceptuel en contexte d'expériences de laboratoire ouvertes en physique.

L'objectif sur le raisonnement veut décrire les raisonnements d'étudiants à l'aide de la logique propositionnelle. Il se divise en deux sous-objectifs, soit :

- 1) Déceler et catégoriser la présence de raisonnements covariants, causals, conditionnels, analogiques, déductifs et inductifs;
- 2) établir la scientificité des raisonnements repérés.

Le deuxième grand objectif, toujours à l'aide de la logique propositionnelle, consiste à repérer les préconceptions des étudiants en lien avec les concepts de mouvement harmonique simple et d'ondes transversales. À la suite de leur identification, la deuxième partie de cet objectif veut observer l'évolution de ces préconceptions en vue d'en faire une catégorisation, de manière à décrire les changements conceptuels opérés.

Pour réussir à bien décrire et catégoriser tant le raisonnement que le changement conceptuel pendant une expérience de laboratoire, une méthode est nécessaire afin d'atteindre les objectifs fixés. Le chapitre suivant porte sur cette méthode, en présentant entre autres les indicateurs retenus et les instruments avec lesquels ont été collectées les données de la recherche.

Méthode

CHAPITRE 3

Le chapitre sur la méthode débute par une description complète des étapes de la collecte de données, tant sur le plan du déroulement que des instruments utilisés. Il se poursuit par une explicitation sur la méthode de transcription (*verbatim*) et se termine avec la présentation des indicateurs de la recherche.

3.1 Généralités sur la méthode

Les étudiants (17-18 ans) qui ont participé à la collecte de données sont inscrits dans le programme Sciences de la nature au Collège Shawinigan. Ils sont répartis en trois groupes distincts, dont deux homogènes et un hétérogène. Le groupe hétérogène inclut des étudiants avec de plus grandes difficultés scolaires. Cette classe ne comporte que 15 étudiants, et ce, afin de leur assurer un meilleur suivi pédagogique. Les groupes homogènes comportent les étudiants ayant obtenu les plus hautes moyennes générales pendant leurs études au secondaire.

Les 70 étudiants de ces trois groupes ont tous accepté de participer à la partie quantitative de la recherche portant sur leur appréciation des expériences de laboratoire, qui sera discutée dans la conclusion de la présente recherche (taux de participation de 100 %, N=70). De ces 70 étudiants, douze étudiants ont participé à la collecte de données qualitatives, parmi 30 volontaires.

Le formulaire de consentement éclairé a été distribué aux étudiants afin de respecter l'éthique et la déontologie la recherche auprès de participants humains. Une demande a été transmise aux étudiants pour la partie quantitative et une autre pour la partie qualitative. Ces documents se trouvent en appendice B.

3.2 Collecte de données

La collecte de données a été réalisée dans le cadre de trois expériences de laboratoire, portant sur « le mouvement oscillatoire » (pendule simple), « le son » et « les instruments de musique ». Chaque collecte est indépendante du point de vue des raisonnements et du changement conceptuel.

Le choix du nombre de participants pour la collecte de données qualitatives a été effectué par convenance. En ayant eu un plus grand nombre de participants, les questions et le temps de réponse auraient été plus courts, ce qui aurait pu diminuer la quantité de préconceptions et de raisonnements relevés.

3.2.1 Durée et déroulement de la collecte

Comme les objectifs de la recherche sont d'observer les raisonnements et les changements conceptuels, chacune des trois collectes s'est déroulée sur une période d'un mois, soit en septembre, octobre et novembre 2005, et ce, dans le but d'augmenter les chances d'observer une évolution des concepts chez les étudiants participants. Plus précisément, chaque expérience de laboratoire a eu une durée totale de quatre heures, réparties sur deux semaines. Le temps de rédaction alloué a été de deux semaines, amenant la durée totale à un mois.

Pour une collecte, trois prises de données distinctes ont été réalisées, comme indiqué à la figure 6 :

Figure 6
Déroulement d'une expérience de laboratoire ouverte
et collecte de données de la recherche (N=12)

<i>Temps</i>	<i>Étape du laboratoire</i>	<i>Collecte de données</i>
t_0		Questionnaire sur les conceptions initiales
t_1	Mise en situation	Entrevue semi-dirigée
t_2	Phase des manipulations	
t_3	Post-laboratoire	Rapport de laboratoire

Avant d'arriver en laboratoire, les étudiants devaient répondre à un questionnaire ouvert sur leurs conceptions initiales par rapport au sujet à l'étude (t_0). Par la suite, pendant l'expérience de laboratoire, les conversations sous forme d'entrevues semi-dirigées entre le professeur et les étudiants participants ont été enregistrées, afin que ces derniers verbalisent leurs réflexions (t_2). Finalement, après l'expérience de laboratoire, ils ont dû remettre un rapport de laboratoire qui a permis de vérifier *a posteriori* ce qu'ils ont retenu (t_3).

Des fiches de données synthèses ont été assemblées après la collecte de données, afin de colliger les informations pertinentes aux trois prises de données (t_0 , t_1 , et t_2 , t_3) pour chacune des équipes. Ces fiches ont été remplies pour les trois temps de la collecte de données.

3.2.2 Type de recherche

La présente recherche entre dans la catégorie des recherches qualitatives/interprétatives. Ces dernières tentent de comprendre le sens qu'un individu donne à ses propos ou actions lorsqu'il se trouve dans son milieu naturel (Savoie-Zajc, 2005). Dans le cas présent, il s'agit de comprendre les énoncés des étudiants dans une situation scolaire d'expérience de laboratoire.

La nature qualitative de la recherche peut également être démontrée par le fait que la discussion porte sur une analyse de contenu des trois instruments principaux de la collecte de données.

La recherche peut aussi être catégorisée comme étant de nature descriptive. Pour Fortin (2005), ce type de recherche a pour objectif de découvrir, caractériser et classer de nouvelles informations en vue de dresser un portrait clair et précis de la situation qu'il étudie. Il s'agit bien de l'objectif de cette recherche, qui tente de caractériser et classer les raisonnements et les changements conceptuels produits par les étudiants en situation d'expériences de laboratoires ouvertes.

3.2.3 Conception de nouveaux laboratoires

Comme les expériences de laboratoire ouvertes en physique n'ont été que peu explorées, il n'existait pas de laboratoires répertoriés dans la littérature répondant à l'enseignement de la physique des ondes auprès des étudiants de niveau collégial. Le professeur-chercheur les a conçues en fonction des concepts sur la physique des ondes.

Dans le laboratoire sur le mouvement harmonique simple, une référence de Donaldson et Odom (2001) sur le pendule a été adaptée et approfondie. Pour les laboratoires du son et des instruments de musique, deux sources ont servi. La première provient d'un protocole préparé par Éric Therrien du Cégep de Drummondville (2005) et l'autre, d'un logiciel nommé « Labdoc son et vibration », ayant été élaboré par Séjourné (2001). D'autres expériences de laboratoire ont été conçues pour le cours de physique « Ondes, optique et physique moderne », mais aucune collecte de données ne leur était associée; elles ne sont donc pas explicitées ici.

Dans chacune des expériences de laboratoire à l'étude, il existe au moins deux mises en situation de départ, ce qui a permis aux étudiants de se centrer sur leur intérêt. Des exemples sont fournis en appendice C.

3.2.4 Le questionnaire ouvert

Le questionnaire ouvert se caractérise par la possibilité pour les participants de répondre librement aux questions (Johnson & Christensen, 2004). Les questions posées demandent une élaboration, une justification (textuelle ou graphique) de la part du répondant. Ces questionnaires renseignent, dans la présente recherche, sur les préconceptions des étudiants. Les questions posées sont en lien avec l'expérience de laboratoire à effectuer.

Chaque questionnaire porte sur une des trois collectes. Le premier questionnaire porte sur le pendule simple (quatre questions), le deuxième, sur le son (trois questions) et le troisième questionnaire traite des instruments de musique (quatre

questions). Chacun des questionnaires a été validé par un examinateur externe, didacticien et professeur d'université. Ils peuvent être consultés en appendice D du présent document.

Codage du questionnaire

Le codage s'est effectué suivant la répétition des informations données et le poids de chaque information dans l'explication, méthode qui est adaptée de McMillan & Schumacher (2001).

Étape 1 : Trouver le sens général des réponses à chaque question.

Étape 2 : Faire émerger des catégories des données (concepts, propriétés, loi).

Étape 3 : Synthétiser les thèmes émergents en thèmes généraux (restructuration) à l'aide d'un réseau conceptuel.

Ces trois étapes permettent de déterminer des catégories qui servent à caractériser les réponses aux questions par rapport aux concepts étudiés. À l'aide de ces catégories, les concepts des étudiants sont comparés à ceux retenus par la communauté scientifique.

Tout ceci, dans le but d'avoir un point de départ pour connaître la situation cognitive pré-laboratoire des étudiants afin d'observer une évolution cognitive chez eux.

3.2.5 L'entrevue semi-dirigée

L'entrevue semi-dirigée peut se décrire comme un lieu de construction de connaissances entre un intervieweur et un interviewé, ayant pour objectif de dégager la compréhension d'un phénomène d'intérêt pour les personnes en présence.

Elle peut se définir comme étant :

« ...une interaction verbale animée de façon souple par le chercheur. Celui-ci se laissera guider par le rythme et le contenu unique de l'échange dans le but d'aborder, sur un mode qui ressemble à celui de la conversation, les thèmes généraux qu'il souhaite explorer avec la participation de la recherche. Grâce à cette interaction, une compréhension riche du phénomène à l'étude sera construite conjointement avec l'interviewé » (Savoie-Zajc, 2005, p. 296).

Justification du choix de ce type d'entrevue

Il semble pertinent dans un cadre d'expériences de laboratoire ouvertes de laisser s'exprimer les étudiants en ne les contraignant pas dans une entrevue dirigée avec des questions trop orientées. Il s'agit plutôt d'observer leurs raisonnements et questionnements, afin de décrire le mieux possible leur évolution cognitive en biaisant le moins possible leur construction.

Justification de l'approche professeur-chercheur

L'approche du professeur-chercheur se justifie avec cet outil de collecte de données. D'une part, le professeur possède le savoir expert pour faire progresser les étudiants et poser les questions adéquates et, d'autre part, il peut réfléchir en même temps sur le processus entrepris par l'équipe de laboratoire. Autrement dit, le fait de vivre la situation d'apprentissage, de la comprendre et de pouvoir la modifier permet une analyse plus en profondeur des événements.

3.2.6 Rapport de laboratoire

Le rapport de laboratoire permet d'assurer un suivi des étudiants sur une plus longue période. Ceux-ci y synthétisent le déroulement de leur expérience de laboratoire, en mentionnant les hypothèses formulées, leurs manipulations, leurs discussions ainsi que leurs conclusions. Les rapports permettent donc d'obtenir une source supplémentaire de prélèvement des indicateurs. Leur analyse se fait de la même façon que pour l'entrevue semi-dirigée, c'est-à-dire avec la grille des indicateurs de raisonnements et de changements conceptuels.

3.2.7 Les fiches synthèses (questionnaire ouvert, entrevue semi-dirigée et rapport de laboratoire)

Des fiches synthèses ont été conçues, de manière à rassembler toute l'information nécessaire pour l'expérience de laboratoire d'une équipe. Une fiche peut comporter jusqu'à trois éléments : le questionnaire sur les préconceptions, l'entrevue semi-dirigée et le rapport de laboratoire. Les prénoms présents dans les fiches sont fictifs, afin de respecter l'anonymat des étudiants. Un exemple de fiche synthèse se trouve en appendice E.

3.2.8 Verbatims et transcription

Les entrevues semi-dirigées ont été recueillies avec une source d'enregistrement audioportative par le professeur-chercheur. La transcription a été effectuée par le professeur-chercheur, car ce dernier était présent lors de la collecte de données et

parce qu'il possède une expertise des concepts étudiés. Ces éléments contribuent à assurer une transcription précise du vocabulaire disciplinaire de la physique.

Les verbatims ont été saisis sur un logiciel de traitement de texte. Les signes habituels de ponctuation ont été utilisés et les pauses ont été indiquées, suivant le tableau ci-dessous.

Tableau 4

Signes de ponctuation utilisés dans les verbatims

!	Exclamation
?	Question
...	La phrase est laissée en suspend
/	La personne a été coupée
+	Pause inférieure à 2 secondes
++	Pause de 2 à 5 secondes
+++	Pause très longue ou coupure de bande

Ces symboles ont été utilisés dans la construction des verbatims, dont voici un exemple de transcription. Il s'agit d'un trinôme composé de trois étudiants, soit Frédéric (F), Jean-Philippe (JP) et Jasmin (J), tous en discussion avec le professeur (S) :

Tableau 5

Exemple de transcription

1	F	Si on enlève cette partie-là sur le graphique, pour ne garder que deux notes, parce qu'il n'y a qu'une seule note sur le tambourin.
2		
3	JP	On fait seulement démontrer notre formule.
4	JP	On trouvait notre amplitude.
5	F	Juste à montrer qu'il y en a deux. Si vous montrez qu'il y en a deux, c'est qu'il en a plus qu'une, ce qui répond à votre problématique.
6		
7	S	Ah OK ! On peut juste montrer qu'il y en a deux, pas obligé de toutes les faire. +
8		
9	JP	Comment on va faire pour démontrer ça ?
10	S	Tu vas frapper dessus, enregistrer le 500 Hz et refaire avec l'autre, qui va être mettons 700 Hz.
11	JP	Ah OK, notre graphique va nous donner la fréquence directe.
12	F	Oui, mais il y en a bien plus que deux là-dessus.
13	S	Justement, votre problématique est de montrer qu'il y en a plus que deux.
		...

3.3 Description des indicateurs

3.3.1 Indicateurs de raisonnement

Les raisonnements des étudiants pendant l'expérience de laboratoire ouverte ont été analysés en fonction des données obtenues dans l'entrevue semi-dirigée et dans le rapport de laboratoire. Une liste d'indicateurs a été identifiée. La grille de repérage de ces indicateurs est présentée au tableau 6.

Tableau 6
Grille d'indicateurs pour le raisonnement

<i>Liste des indicateurs</i>	<i>Présent</i>	<i>Lignes</i>
Indicateurs secondaires		
1. Conjonction de coordination		
2. Comparatif (comme)		
3. Conditionnel		
4. Supposition		
5. Référence		
a) Concept		
b) Loi (équation)		
c) Principe		
d) Données		
6. Succession		
a) Covariation		
b) Causalité simple		
c) Causalité formelle		
7. Causalité circulaire		
8. Types d'arguments		
a) Par un exemple (généralisation)		
b) Par une illustration (explication de la généralisation)		
c) Analogique : lien entre le « thème » et le « phoros ».		
9. Liaison (type d'argument et hypothèse)		
a) Exemple		
b) Illustration		
c) Analogie		

10. Contre-argument (réfutation)		
Descripteurs		
11. Cheminement global		
a) Présence d'une ou plusieurs hypothèses au départ		
b) Émergence de nouvelles hypothèses pendant le laboratoire		
12. Structure de l'hypothèse		
a) Présence d'un contexte d'émergence de l'hypothèse		
a1. Cadre théorique		
a2. Observation empirique		
b) Présence d'une justification de l'hypothèse		
b1. Par un cadre théorique		
b2. Par une observation empirique		
13. Évaluation des faits (pendant et après le laboratoire)		
a) Rigueur dans la prise de données		
b) Causes d'erreurs		
c) Incertitudes dans les manipulations		
d) Discussion sur les tableaux		
e) Discussion sur les graphiques		
f) Comparaison des résultats (théorie et expérience)		
14. Conclusion en lien avec l'hypothèse		
a) Argumentation reliée à la justification de l'hypothèse		
b) Argumentation basée sur les données et l'analyse		
c) Biais cognitif de confirmation de l'hypothèse		
Indicateur primaire		
15. Inférence		
a) Expérience (hypothèse ou conclusion)		
b) Théorique (hypothèse ou conclusion)		
c) Mixte (hypothèse ou conclusion)		

Pour remplir la présente grille, il suffit de répondre « Oui » ou « Non » à chacun des indicateurs quant à leur présence dans une fiche synthèse. Lorsque la réponse est « Oui », le nombre de fois que l'indicateur a été repéré doit être indiqué, avec l'endroit où on peut le repérer dans la fiche synthèse.

Une analyse inter-juge des résultats a été réalisée dans l'analyse des verbatims, de manière à s'assurer d'une plus grande objectivité des résultats. Un premier codage a été fait par une première chercheuse, étudiant dans le domaine des Sciences de la nature et qui a réalisé les mêmes expériences que celles proposées aux étudiants de cette recherche. Le codage s'est ainsi avéré facilité, puisque la formation que le chercheur principal a offerte à la chercheuse avait été ciblée sur la définition des indicateurs. Le deuxième codage a été réalisé par le professeur-chercheur.

3.3.2 Indicateurs secondaires de raisonnement

Les indicateurs secondaires sont centraux dans l'analyse du raisonnement qui a pour objet la logique propositionnelle et la structure de l'argumentation. Un détail de chacun des indicateurs est présenté.

1. Connecteurs de propositions

Les connecteurs lient les propositions entre elles. Dans le cadre de cette étude, elles correspondent aux conjonctions de coordination, qui sont au nombre de sept : *mais, ou, et, donc, car, ni, or*.

L'électricité et le magnétisme impliquent la présence d'une charge.

Pour 550 Hz ou 400 Hz, la tension reste la même. Elle est donc une constante.

2. Comparaison

L'indicateur de comparaison s'identifie par le terme *comme*, qui relie deux propositions entre elles. Le *comme* ayant un sens d'intensité ne sera pas retenu, étant donné qu'il n'amène pas de renseignement sur une catégorie de raisonnement. Le *comme* de comparaison permet d'indiquer un raisonnement analogique.

Comme il est beau (intensité)

Dense comme le plomb (comparaison)

3. Conditionnel

Cet indicateur sera relevé s'il y a présence de deux propositions, reliées entre elles par un marqueur de conditionnalité. Le plus fréquemment rencontré est la locution « si-alors ». Il est à noter qu'elle sera relevée même si une des deux composantes n'est pas présente, la locution étant alors sous-entendue. L'important est que l'énoncé puisse se retrouver dans la table de vérité conditionnelle.

Si je mets du NaCl, alors j'observe que ma solution est bleue.

Si je ne mets pas de NaCl, ma solution reste verte.

4. Supposition

Une supposition sera repérée lorsqu'une proposition aura un caractère probabiliste ou injustifié. Les trois exemples suivants, pris tels quels, ne sont pas justifiés. De plus, ils sont incertains, puisque la structure des propositions suggère un certain doute.

Peut-être que la chute du corps est causée par la présence d'un champ gravitationnel.

Il est probable que la fréquence varie en fonction de la vitesse.

Se pourrait-il que la période soit indépendante de l'amplitude ?

5. Référence

La référence est une partie ou la totalité d'une proposition considérée comme vraie du point de vue scientifique. Il peut s'agir d'une donnée expérimentale, d'une loi, d'un principe ou d'un concept.

Lorsque la fréquence augmente, la vitesse de propagation augmente selon $F_n = nv/2L$.

6. Succession

a. Covariation

La covariation est ici prise de manière mathématique ou quantifiable. Elle nécessite deux propositions avec des verbes de covariation, comme *diminuer*, *augmenter*, *varier*. Elle peut provenir d'adverbes d'intensité :

Plus l'intensité est élevée, plus le voltage est fort.

Je diminue la fréquence de moitié et la vitesse augmente par un facteur de quatre.

b. Causalité simple

La causalité simple s'opère dans le cas où plusieurs essais sont effectués dans la covariation.

Je diminue la fréquence de moitié et la vitesse augmente par un facteur de quatre.

Je diminue la fréquence du quart et la vitesse augmente par un facteur de seize.

J'augmente la fréquence du double et la vitesse diminue par un facteur de quatre.

c. Causalité circulaire

Elle se produit lorsqu'un phénomène A influence un phénomène B, et que le phénomène B influence à nouveau le phénomène A ($A \rightarrow B \rightarrow A$). Elle nécessite donc trois propositions, avec deux verbes de covariation. Par exemple, dans le cas du mouvement d'une pendule, la force influence la valeur de l'angle à chaque instant t , mais la variation de l'angle implique une variation subséquente dans la force (Halbwachs, 1971).

8. Argumentation

Les arguments permettent de justifier un point de vue pendant l'expérience de laboratoire, sans lien direct avec l'hypothèse. Ils se divisent en trois catégories : les exemples, les illustrations et les analogies.

L'exemple est un cas particulier d'une règle à établir. Une proposition doit contenir une référence empirique et une autre doit être un indicateur de succession.

Il a été observé que plus l'accélération est grande, plus la force est élevée. Les essais pour cinq masses différentes laissent à penser que l'équation $F=ma$ est valable.

L'illustration confirme une généralisation. Elle a également besoin de deux propositions. La première contient une ou des références empiriques et la deuxième, une référence à une loi, une théorie ou un principe établi.

Avec une masse de 5 kg et une accélération de 1 m/s^2 , la force est bien 5 N sur l'objet, confirmant la loi $F=ma$.

L'analogie, quant à elle, lie un « thème » à une deuxième proposition, le « phoros », permettant de transférer la validité du « phoros » dans le thème.

Il est normal que l'accélération soit plus petite lorsque la masse est plus grande (1), comme (2) pour le cas des voitures par rapport aux motos : ces dernières accélèrent toujours plus vite à un feu vert (3).

Pour l'analogie, la proposition (1) est le thème et la proposition (3) est le « phoros », comparées à l'aide de l'indicateur comme (2).

9. *Liaison*

La liaison permet de faire un lien entre l'hypothèse et les arguments proposés par les étudiants dans une ou des propositions. Les mêmes exemples que l'indicateur d'argumentation peuvent être repris, en considérant que leur hypothèse de départ est $F = ma$.

10. Contre-argument

Le contre-argument vient s'opposer à une proposition ou à un raisonnement énoncé. Elle nécessite deux personnes, chacune énonçant au minimum une proposition. Les étudiants qui effectuent la contre-argumentation doivent répondre par une opposition ou une négation.

Étudiant 1 : Je pense que l'écart entre la valeur théorique de $3\ \Omega$ et la valeur expérimentale de $5\ \Omega$ est due à la diminution de température dans la pièce.

Étudiant 2 : Non, la température est restée constante pendant toute l'expérience, j'ai regardé la température sur le thermomètre.

3.3.3 Descripteurs de raisonnement

Les descripteurs ont pour objectif de saisir le cheminement global des étudiants (hypothèses, déroulement, conclusion). Ils ne sont pas utilisés directement dans l'analyse, mais peuvent servir dans son interprétation.

11. Cheminement global

L'indicateur du cheminement global note principalement la présence des hypothèses de départ et ceux qui émergent pendant l'expérience de laboratoire ouverte. Ensuite, un tableau général indique le parcours des étudiants selon les principales étapes du déroulement.

12. Structure de l'hypothèse

Comme la génération d'hypothèses est centrale dans l'activité scientifique, un indicateur particulier pour cet aspect de l'expérience de laboratoire ouverte semblait nécessaire.

La structure de l'hypothèse permet de situer le contexte d'émergence de l'hypothèse (cadre théorique ou observation) ou indiquer une justification de l'hypothèse (cadre théorique ou observation).

Cet indicateur est relevé dans le rapport de laboratoire, mais peut aussi se retrouver dans l'entrevue semi-dirigée.

13. Évaluation des faits

Reliée aux indicateurs d'argumentation, l'évaluation des faits permet d'évaluer globalement la cohérence et les appuis des étudiants dans leurs affirmations dans l'entrevue semi-dirigée et dans l'analyse du rapport de laboratoire

14. Conclusion en lien avec l'hypothèse

Cet indicateur permet d'observer la cohérence globale du cheminement en analysant la relation entre la conclusion et l'hypothèse. Y a-t-il une relation entre les deux et, si tel est le cas, la validation est basée sur quels propos (pente du graphique, données, valeurs numériques) ?

3.3.4 Indicateur primaire de raisonnement

15. Inférence

L'inférence constitue l'indicateur primaire de raisonnement. On se trouve en situation d'inférence lorsqu'il y a présence de trois propositions, les deux premières étant liées entre elles par un indicateur de connexion, de conditionnalité, de comparaison ou de succession, et la troisième proposition étant la conclusion.

Lorsqu'il y a présence d'inférence, un raisonnement est alors quasi assuré. Il s'agit en fait de trouver quel type de raisonnement a été énoncé par les étudiants. Le raisonnement effectué dépend alors de la nature des propositions (références, suppositions et de la liaison qui existe entre elles.

Les catégories présentes durant l'analyse sont en lien avec les indicateurs secondaires et primaire. Ils sont au nombre de cinq, soit le raisonnement analogique, conditionnel, covariant ou causal, déductif et inductif.

3.3.5 Indicateurs de changement conceptuel

À l'instar de la grille des indicateurs des catégories de raisonnement et du raisonnement scientifique, une grille a été élaborée pour indiquer la présence de changement conceptuel. Elle est présentée au tableau 7.

Tableau 7

Grille d'indicateurs pour le changement conceptuel

Indicateurs secondaires		
15. Inférence		
a) Expérience (hypothèse ou conclusion)		
b) Théorique (hypothèse ou conclusion)		
c) Mixte (hypothèse ou conclusion)		
16. Hypothèse ou supposition		
17. Proposition incohérente avec une équation		
18. Raisonnement analogique		
19. Raisonnement causal		
20. Raisonnement inductif		
21. Raisonnement déductif		
22. Raisonnement conceptuel		
23. Conflit cognitif		
24. Conflit sociocognitif		
25. Définition d'un concept		
26. Interrogation		
a) Conceptuelle		
b) De validation		
c) De raisonnement		

3.3.6 Indicateurs secondaires de changement conceptuel

Comme il a été vu dans le cadre conceptuel, le changement conceptuel peut prendre appui sur le raisonnement pour être observé. À ce sujet, l'indicateur 15 cible la présence d'inférences. Toujours dans le même sens, les indicateurs 18 à 22 se rapportent plus précisément à des catégories de raisonnement.

Il a également été vu que le niveau de validité des propositions pouvait être séparé en trois catégories, soit la supposition, l'hypothèse et la référence. Comme la supposition et les hypothèses peuvent provenir d'une préconception, elles sont retenues comme 16^{ème} indicateur.

Pour la référence, soit l'indicateur 17, seul un cas particulier sera retenu, soit celui où l'étudiant se réfère inadéquatement à une équation ou une loi. Il sera intéressant de voir la progression pendant l'expérience de laboratoire et d'observer si une rectification sera réalisée.

23. *Conflit cognitif*

Le conflit cognitif ne sera noté que lorsqu'il y aura présence d'un raisonnement chez les étudiants et que ceux-ci se rendront compte de la faiblesse ou de l'incohérence de ce raisonnement. Aussi, le conflit cognitif sera perçu si l'étudiant confronte des données ou des théories contradictoires, comme dans l'exemple suivant :

La force que j'applique sur mon objet me donne une faible accélération.

Pourquoi l'accélération est-elle plus faible dans ce cas, alors qu'avec une autre force plus faible, j'obtiens une accélération plus grande ?

24. *Conflit sociocognitif*

Dans cette situation, un étudiant énonce une proposition ou un raisonnement qui entre en contradiction avec celle ou celui d'un autre étudiant. Celui-ci manifeste alors de façon explicite son désaccord avec le premier, et une argumentation s'ensuit pour résoudre la divergence de point de vue.

Étudiant 1 : Pour prendre notre mesure, il faut une règle pour être précis.

Étudiant 2 : Non, on devrait plutôt prendre un pied à coulisse, c'est encore plus précis.

Étudiant 1 : Pourquoi, ça ne change rien.

Étudiant 2 : Le pied à coulisse permet trois chiffres significatifs au lieu de deux pour la règle.

25. *Définition*

La définition sert à élaborer une référence utilisée. Elle doit être en accord avec le savoir scientifique. Elle agit comme point de départ pour l'étude d'un concept afférent, car elle permet d'explicitier la structure cognitive des étudiants par rapport à ce concept. Si elle est correctement énoncée, il s'agit d'une référence théorique. À titre d'exemple, prenons la définition du courant.

Le courant est la quantité de charges par unité de temps. Les unités sont des coulombs par seconde.

26. *Présence d'interrogation*

Les interrogations, ou questions, semblent importantes pour comprendre le raisonnement des étudiants et les limites de la construction qu'ils effectuent. Il existe plusieurs genres de questions.

a. Questions conceptuelles

Un premier type concerne les questions générales sur la théorie. Elles doivent contenir, en plus de la structure interrogative, un ou plusieurs concepts.

C'est quoi une force ?

b. Questions de validation

Un deuxième type de questions touche la validation d'une supposition faite par les étudiants ou sur les définitions énoncées de manière interrogative.

Est-ce que je peux prendre la mesure comme ça ?

Les unités de la masse sont bien des kilogrammes ?

c. Questions de raisonnement

Un autre type de questions survient lors de l'aboutissement d'un raisonnement effectué par les étudiants. La question est alors posée pour trouver le chaînon

manquant, qui leur permettra de résoudre leur problématique ou au moins d'avancer fortement dans la résolution.

On sait que plus notre voltage est grand, plus l'intensité dans le circuit est grande. Après avoir fait le graphique entre les deux, on trouve une résistance de 5Ω , qui est loin de la valeur théorique. On sait que la résistance varie en fonction de la température. Se peut-il que la résistance ait chauffé pendant le laboratoire ?

Les indicateurs des deux grilles sur le changement conceptuel et le raisonnement ont été conçus dans l'objectif d'identifier le plus grand nombre possible de catégories de raisonnements et de changements conceptuels. Il aurait été envisageable de réduire le nombre d'indicateurs afin d'aller plus en profondeur dans les principaux modes de raisonnements et de changements conceptuels, mais comme la recherche est de nature descriptive, il a été choisi de rester général afin de rechercher le plus grand nombre possible de catégories. Le prochain chapitre, la discussion, présente et analyse les principaux résultats issus de cette collecte de données et se termine en proposant une interprétation de ces résultats.

Discussion

CHAPITRE 4

La discussion se divise en deux sections. La première traite des indicateurs de raisonnements, des catégories de raisonnements ainsi que du raisonnement scientifique. Ces aspects sont discutés en lien avec la logique propositionnelle, les modèles mentaux et le pragmatisme. La deuxième partie de la discussion traite des préconceptions et du changement conceptuel avec les indicateurs appropriés à cette étude. Le chapitre se termine par un retour sur les questions de recherche du chapitre 1.

Chacun des indicateurs est présenté dans ce chapitre en lien avec la catégorie ou le concept duquel il relève. De plus, une interprétation partielle suit immédiatement la présentation et l'analyse de chacun des indicateurs. Ceci permet de regrouper toute l'information obtenue au même endroit, de manière à faciliter la lecture de la discussion. Une interprétation plus globale est proposée lors des réponses aux questions de recherche.

4.1 Étude de la logique propositionnelle et du raisonnement

Les premiers indicateurs présentés touchent la logique propositionnelle et le raisonnement. À cet égard, cette section permet d'établir en quoi ces indicateurs s'accordent avec les définitions proposées au chapitre 3 relativement à la logique propositionnelle, aux modèles mentaux et au pragmatisme, et en quoi ils s'en détachent. Ensuite, elle établit la présence de plusieurs catégories de raisonnement.

4.1.1 Indicateur et raisonnement analogique

Aucun des indicateurs de raisonnement analogique n'a été repéré. Que ce soit l'indicateur de l'argument analogique, de comparaison ou de la liaison analogique, aucun ne s'est retrouvé présent dans les verbatims. Une conclusion préliminaire serait que le raisonnement analogique ne semble pas être utilisé fréquemment par des étudiants de niveau collégial en situation d'expérience de laboratoire ouverte. Les études ayant montré la présence de raisonnements analogiques sont généralement menées dans des environnements contrôlés afin de produire spécifiquement ces raisonnements (Harrison & Treagust, 2001; Harrison & De Jong, 2005). Or, dans notre étude, les étudiants possédaient une liberté dans leurs processus réflexifs. Ceci ne les contraindrait pas suffisamment pour les amener à produire des raisonnements analogiques.

4.1.2 Connecteurs de propositions

Les indicateurs de connexion ne sont pas systématiquement associés à une catégorie de raisonnement. Par contre, ils structurent tous les genres de raisonnement, raison pour laquelle ils sont abordés en début de discussion. Règle générale, ils prennent souvent la forme d'une conjonction de coordination. En voici un exemple :

« Il est techniquement impossible d'avoir un mouvement harmonique simple à cause de la gravité et du frottement de l'air. »

Mélissa, fiche 5, conversation 1, lignes 2-3

Ici, la conjonction de coordination a permis de séparer les deux causes pour lesquelles cette étudiante croit qu'il est techniquement possible d'avoir un mouvement harmonique simple. La conjonction de coordination remplit donc bien son rôle de connecteur propositionnel tel que défini au chapitre 3.

Dans les verbatims, les conjonctions de coordination les plus fréquemment rencontrées sont *et* et le *mais*. Ceci étant dit, elles sont parfois incorrectement utilisées comme dans l'exemple suivant :

« C'est ce que nous voulions savoir. Mais le seul problème était que $f_n = nv/2L$. Mais nous autres on voulait [...]. »

Mathieu, fiche 4, conversation 3, lignes 85-86

L'emploi des *mais* relève d'une répétition inconsciente (tic) à l'oral. Bien que les *mais* relient les phrases entre elles dans l'énoncé, les deux propositions sont indépendantes l'une de l'autre. La logique propositionnelle ne peut donc s'appliquer dans ce cas.

Un autre exemple montre que les connecteurs peuvent être intervertis, ce qui rend la tâche plus complexe à l'interlocuteur pour décoder le sens réel du raisonnement.

« On voulait savoir (1), alors (2) nous nous demandons si (3) la fréquence est la même pour deux tambourins de rayon complètement différent. »

Fred, fiche 2, conversation 4, lignes 4-5

Sans tenir compte du sens global des propositions, on pourrait penser qu'il y a présence d'un raisonnement conditionnel. Bien que le « si-alors » soit présent dans l'extrait, il l'est de manière inversée. En s'y attardant, on se rend même compte que le *alors* (2) joue plutôt le rôle du connecteur *donc* entre la proposition (1) et le reste de la phrase. Le terme *si* (3) est très important, car il exprime non pas la conditionnalité, mais bien l'incertitude de la proposition, qui devient alors une supposition.

Après analyse, ni le *alors* ni le *si* ne remplissent le rôle de la conditionnalité dans cet énoncé, ce qui illustre la nature complexe du discours oral. Les étudiants ou le professeur qui écoutent cet énoncé doivent interpréter adéquatement l'information du locuteur, et ce dernier doit s'exprimer clairement en utilisant les termes adéquats. Il faut certes porter attention à la logique propositionnelle, mais également au sens global des propositions, comme mentionné dans la théorie des modèles mentaux.

Maintenant que les connecteurs de proposition ont été présentés, il est possible de passer à la discussion sur les catégories de raisonnements, en commençant par le raisonnement conditionnel, qui a été la catégorie la plus fréquemment rencontrée.

4.1.3 Raisonnement conditionnel

La présence de l'indicateur de conditionnalité a tout d'abord été recherchée par la présence de la locution « si-alors »

Si on ouvre l'interrupteur, alors le courant ne passe plus.

Cet exemple est fictif, car jamais dans les verbatims un raisonnement conditionnel aussi explicite n'a été observé. La plupart du temps, les cas rencontrés étaient formulés ainsi :

« Si on peut le mettre le micro n'importe où, on peut le mettre au milieu. »

Mathieu, fiche 4, conversation 1, ligne 21

Dans cet exemple, le terme *alors* est absent et le terme *si* indique à lui seul la conditionnalité du raisonnement. La conditionnalité est repérée grâce au sens global de l'affirmation, conformément à la théorie des modèles mentaux. De la même façon, la proposition :

« Quand tu pinces au centre, c'est toute la corde qui vibre en résonance. »

Benoît, fiche 1, conversation 1, ligne 86

... peut se traduire par :

« Si tu pinces au centre, alors c'est toute la corde qui vibre en résonance. »

En gardant intact le sens des propositions, on remarque que la conditionnalité est bien présente dans cette phrase. Des exemples similaires ont été relevés dans les verbatims, où le terme *si*, propre à la conditionnalité, peut être remplacé par *quand* ou *lorsque* et le terme *alors* par *donc* ou *ainsi*.

Comme il a été mentionné en introduction, cette catégorie de raisonnements est la plus couramment rencontrée chez des étudiants en situation d'expériences de laboratoire ouvertes. Ils l'utilisent autant lorsqu'ils cherchent à établir des relations entre les variables que lorsqu'ils veulent associer deux variables ensemble, ou même lors d'explications sur l'observation d'un phénomène.

Ces résultats montrent clairement l'importance du raisonnement conditionnel, qui permet aux étudiants de réfléchir sur les conditions d'un problème et les impacts de la modification de telle ou telle variable. Il est à la base du processus scientifique. On peut se réjouir que cette catégorie de raisonnement soit aussi présente : cela montre une saine activité cognitive des étudiants.

Le raisonnement conditionnel semble souvent lié au raisonnement covariant. Pour approfondir le lien entre ces deux types de raisonnements, commençons par aborder intrinsèquement le raisonnement covariant et causal.

4.1.4 Raisonnement covariant et causal

L'indicateur de covariation a tout d'abord été repéré grâce aux adverbes d'intensité, généralement avec les adverbes *plus* et *moins*, comme dans le cas suivant :

« Plus la corde est longue, plus il est difficile d'obtenir $n=1$. »

Mathieu, fiche 4, conversation 2, lignes 20-21

Un autre type de raisonnement covariant peut apparaître sans la présence d'adverbes d'intensité. Il faut alors l'emploi de verbes appropriés.

« On a trouvé que lorsqu'on change la longueur de la corde, la fréquence change. »

Christine, fiche 1, conversation 2, lignes 136-139

Il s'agit ici d'une covariation étant donné l'emploi du verbe *changer*, qui aurait d'ailleurs pu être remplacé par *varier*, *modifier*, *augmenter*, *diminuer*, *élever*, *abaisser*, *doubler*, etc.

En observant attentivement, on peut se rendre compte que dans cet exemple, on assiste à la situation A de la table de Zimmerman (2005), soit que si l'antécédent est modifié, le conséquent subit aussi une modification.

Tableau 3
Table de covariations (Zimmerman, 2005)

Antécédent (p)	Conséquent (q)	
	<i>Présent</i>	<i>Absent</i>
<i>Présent</i>	A	B
<i>Absent</i>	C	D

À la suite d'une analyse globale des verbatims, il semble que les étudiants préfèrent partir d'une relation causale, soit dans ce cas-ci $f_n = nv/2L$, et montrer la présence de covariations dans la relation (la fréquence change en fonction de la longueur). Les propos de Christine représentent à ce sujet la majorité des raisonnements covariants repérés, qui vont généralement d'une relation causale vers une covariante.

Pour être encore plus précis, toujours à l'image des propos de Christine, les étudiants abordent majoritairement la situation A du cas covariant. Ceci se comprend aisément si l'on pense à la structure des expériences de laboratoire fermées. Dans ce type d'expériences de laboratoire, les étudiants valident une loi par la démonstration des covariations entre chacune des variables de l'équation. Par conséquent, les étudiants sont passés maîtres dans ce type spécifique de raisonnements covariants, en laissant de côté d'autres types de raisonnements.

Ainsi, à l'inverse, étudier tous les cas d'une covariation entre deux variables pour établir une causalité relève de l'induction et exige une autre structure de raisonnement que celle à laquelle les étudiants sont habitués. Ceci explique fort

probablement pourquoi aucun raisonnement causal (autant simple, formel que circulaire) n'a été observé.

Ces résultats montrent bien la nature stéréotypée des expériences auxquelles sont habitués les étudiants. À partir d'une relation causale, on détermine la situation A de la table de covariation et on suppose que la loi a été démontrée. L'investigation et la confirmation d'une loi sont plus complexes que ce qu'ont acquis les étudiants dans leur parcours ! Ainsi, aucun des étudiants n'a pensé aller vérifier les cas B, C et D de la table de covariation. Que se passerait-il s'ils découvraient que même s'ils ne modifient pas la longueur de la corde du pendule, la période varie quand même ? Certes, l'accent doit être mis sur la démonstration d'une relation covariante entre deux variables, mais une fois que cela a été réalisé, il convient d'être critique par rapport aux résultats obtenus. Or, dans le cas présent, les étudiants ne semblent pas posséder les outils pour critiquer leurs résultats obtenus quant à la présence certaine d'une covariation et d'une causalité.

Relation entre raisonnement conditionnel et covariant

Le raisonnement *covariationnel* a toujours été repéré en présence d'un raisonnement conditionnel. Une interprétation peut être tentée pour expliquer cette présence de raisonnement double dans une même phrase.

Considérons à nouveau l'énoncé précédent :

« On a trouvé que lorsqu'on change la longueur de la corde, la fréquence change. »

Christine, fiche 1, conversation 2, lignes 136-139

Il est possible de reformuler cet énoncé en y intégrant la locution « si-alors » :

« **Si** on change la longueur de la corde, **alors** la fréquence change »

L'expression *lorsqu'on* aurait alors le sens de *si*, et le *alors* serait implicite dans l'énoncé initial. Il s'agit d'un raisonnement conditionnel, où l'on regarde l'effet de la présence de la variable *longueur de la corde* sur la variable *fréquence*.

La quantification et la précision avec lesquelles se fait l'étude entre les deux variables proviennent du verbe *changer*, qui indique la présence d'un raisonnement covariant.

Cet exemple illustre le fait qu'une structure propositionnelle peut inclure plus d'une catégorie de raisonnements, soit, dans le cas présent, la covariation et la conditionnalité.

Plus exactement, la covariation semble être incluse dans la structure de la conditionnalité, et ce, pour chacun des cas repérés dans les verbatims où il y avait présence des deux catégories de raisonnements.

Ces deux catégories de raisonnements semblent complémentaires. Le raisonnement conditionnel se rattache à la structure des énoncés et aux lois de la logique formelle,

tandis que la covariation traite des propositions en elles-mêmes et permet de raffiner la relation qui existe entre les propositions. On peut donc être certain qu'à chaque fois qu'il y a covariation, il y a conditionnalité entre les variables étudiées.

Le raisonnement conditionnel et le raisonnement covariant peuvent aussi se confondre, lorsque la covariation est binaire (présente ou absente). La conditionnalité joue alors le rôle de la covariation de manière implicite, tel que dans cette situation fictive :

Action 1 : Si je mets du voltage, alors il y a du courant.

Action 2 : Si je ne mets pas de voltage, alors il n'y pas de courant.

Si ces deux propositions sont vraies, alors la conditionnalité joue le rôle de covariation. Bien que cette proposition comporte une conditionnalité binaire, la relation entre le voltage et l'intensité peut être plus précise que cela, alors que l'on sait qu'il y a une proportionnalité entre les deux variables. Si l'on veut distinguer conditionnalité et covariation dans ce cas, il faudrait dire :

Action 1 : Si je double le voltage, alors il y a deux fois plus de courant.

Action 2 : Si je diminue le voltage du tiers, alors le courant diminue également du tiers.

On peut constater la complémentarité du raisonnement conditionnel et covariant. Dans les verbatims, les deux raisonnements sont constamment et conjointement

invoqués par les étudiants pour expliquer les résultats qu'ils obtiennent à partir des données expérimentales.

Des résultats peuvent être rapportés également sur le fait que les raisonnements conditionnels et covariants apparaissent comme des raisonnements localisés, en ce sens qu'ils s'appliquent à une situation particulière et ne semblent pas être un processus s'échelonnant sur une séance complète d'expérience de laboratoire. Ces deux types de raisonnements sont très circonscrits. Cet aspect contrastera avec la notion de raisonnement scientifique qui sera présentée plus tard.

Pour le moment, il reste deux catégories de raisonnements à discuter, soit les raisonnements déductifs et inductifs. Leur structure est plus complexe, et un indicateur plus élaboré est nécessaire pour être en mesure de bien les détecter. Il s'agit de l'indicateur d'inférence.

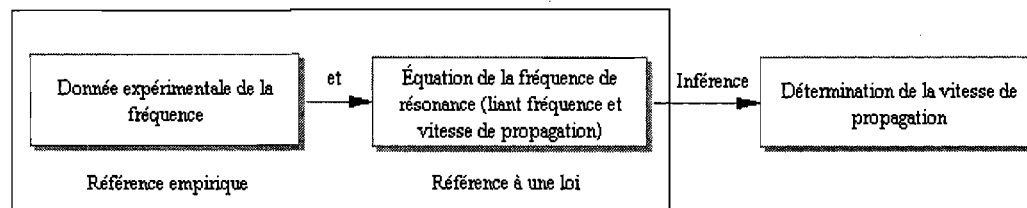
4.1.5 Inférences

Comme les inférences sont des indicateurs primaires plus élaborés par nature, la quantité retrouvée dans les fiches synthèses a été plus faible. Voici un premier cas où il y a présence d'une inférence :

« Chaque note sert à calculer la fréquence, puis avec l'équation, on peut trouver la vitesse. »

Benoît, fiche 1, conversation 1, lignes 78-80

Si l'on schématise cette phrase, on obtient :



Tous les éléments sont présents et explicités pour conclure sur la présence d'une structure inférentielle : deux propositions sont unies par un connecteur pour inférer une troisième proposition, soit la vitesse de propagation du son sur la peau d'un tam-tam. Le connecteur de proposition *puis* joue le rôle du *et*, raison pour laquelle il a été modifié dans la schématisation.

En ce qui a trait à la deuxième proposition, alors que l'étudiant fait mention de « l'équation », il est possible de conclure qu'il s'agit de l'équation de la fréquence de la résonance à l'aide de la pragmatique. En effet, les étudiants énoncent et décrivent explicitement l'équation dans l'analyse de leurs résultats, où ils réfèrent directement aux mesures prises pendant que cette phrase a été énoncée. Pour cette raison, on peut raisonnablement croire que les étudiants ont réalisé une inférence sur la détermination de la vitesse de propagation à partir de l'équation de la fréquence de résonance.

L'étude de l'indicateur d'inférence permet de se rendre compte de l'importance de la pragmatique dans l'analyse et l'interprétation du discours des étudiants. Elle montre également que l'inférence est détectable dans un discours étudiant en se basant sur la logique propositionnelle.

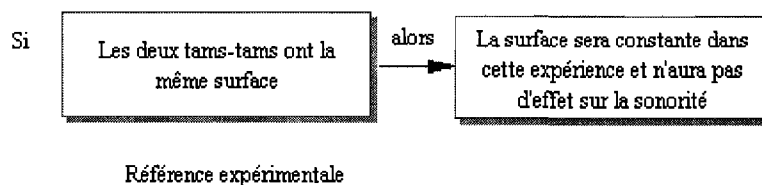
Par contre, il existe des cas où la logique propositionnelle permet d'identifier une structure inférentielle, mais n'assure pas qu'il y a bel et bien présence d'inférence. Voici un deuxième exemple qui présente ceci, où, de prime abord, la structure de l'inférence est respectée, mais où on ne peut être certain de la nature de l'inférence effectuée par l'étudiant :

Prof : « Si tu mets les tambourins un par-dessus l'autre, tu te rends compte que les deux surfaces sont pareilles. »

Benoît : « D'accord. Donc, ce n'est pas la surface qui a un impact sur la sonorité. »

Benoît, fiche 1, conversation 1, lignes 36-38

En schématisant, on obtient :



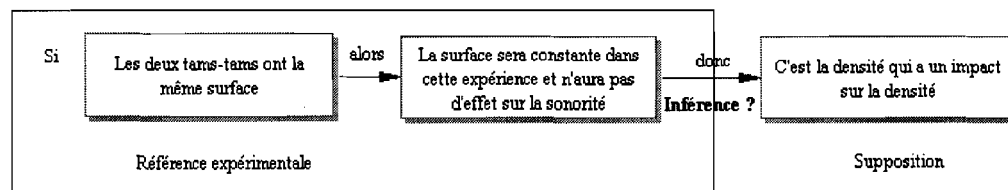
L'étudiant conclut que l'aire n'aura pas d'effet sur la sonorité, étant donné qu'elle est constante dans l'expérience. Il s'agit d'un raisonnement conditionnel.

À partir du raisonnement conditionnel, l'étudiant poursuit en mentionnant :

« Si ce n'est pas la surface (1) qui a un impact sur la sonorité (2), alors c'est la densité (3). »

Benoît, fiche 1, conversation 1, lignes 37-39

La schématisation donne :



Cette phrase contient deux propositions (1 et 2), un connecteur et une conclusion (3).

Les conditions d'une inférence y sont réunies.

Bien qu'il soit facile de conclure à la présence d'une inférence, le connecteur *donc* mérite une attention particulière. On est en droit de se demander pourquoi, si ce n'est pas la surface qui a une influence sur la sonorité, ce serait *nécessairement* la densité. L'étudiant ne fait jamais mention d'un lien explicite entre la surface et la densité, et rien ne permet de conclure qu'il la connaît. Devant ce manque d'informations, ni la logique propositionnelle, ni la théorie des modèles mentaux, ni la pragmatique ne peuvent nous renseigner sur la validité et la nature réelle de l'inférence réalisée par l'étudiant. Ceci rejoint les propos de Lawson (1994), qui indiquent que certaines situations sont difficilement accessibles par le chercheur, étant donné la nature implicite et interne des processus liés au raisonnement.

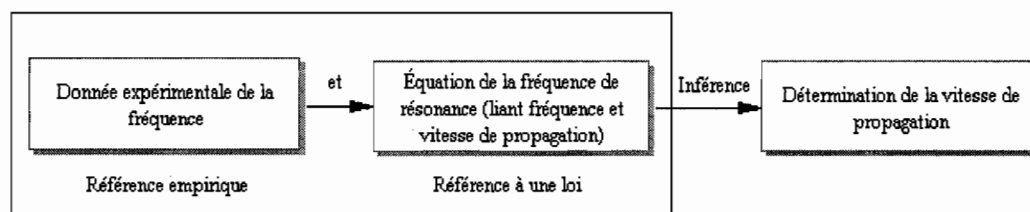
Les résultats valident donc les propos de Lawson (1994) sur la difficulté d'identifier inférence et raisonnement. De plus, précisons que dans la recherche actuelle, la difficulté a surtout été sur le plan de l'interprétation de la validité des inférences.

Ceci étant dit, la seule présence d'inférence dans les discussions des étudiants constitue un autre signe encourageant concernant leur activité cognitive en situation d'expérience de laboratoire ouverte. Les inférences impliquent un minimum de trois propositions avec un enchaînement logique et cohérent entre elles. Ceci signifie que des étudiants réfléchissent et structurent leur pensée et qu'ils sont engagés au moins jusqu'à un certain point dans leur expérience. À tout le moins, ils ne l'exécutent pas machinalement.

Le fait d'être en mesure de détecter des inférences aide à l'identification de raisonnements inductifs, mais surtout de raisonnements déductifs.

4.1.6 Raisonnement déductif

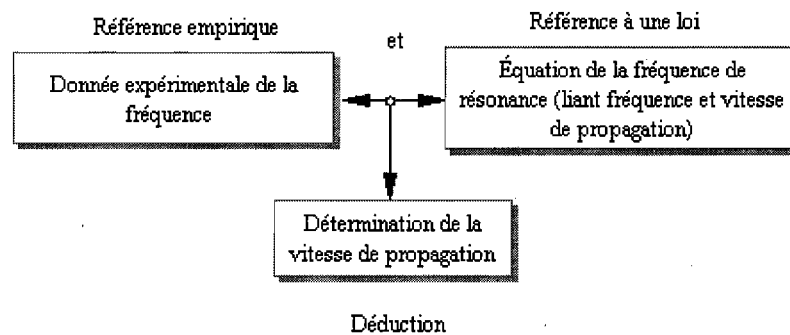
À ce sujet, considérons de nouveau le premier cas utilisé dans la discussion sur l'inférence :



Cette inférence est un raisonnement déductif. Deux propositions sont liées entre elles, une étant une référence empirique (la fréquence), l'autre une loi théorique

(fréquence de résonance) permettant de faire une inférence sur la valeur de la vitesse de propagation de l'onde sonore dans le tam-tam. La détermination de la vitesse est un cas particulier de l'équation de la fréquence de résonance. On peut l'illustrer en reprenant la figure 3 du chapitre 2.

Figure 3
Structure du raisonnement déductif



Comme cela est précisé dans certains ouvrages, le raisonnement déductif semble bien passer de propositions ou lois générales vers des cas particuliers (Gingras, 2005; Fortin et coll.; 2006). Dans cet ordre d'idées, une plus grande présence de raisonnements déductifs a été repérée comparativement aux raisonnements inductifs. Comme la plupart des étudiants ont toujours réalisé leurs expériences dans un contexte de laboratoires fermés, ils sont devenus experts pour valider des lois et les équations qui en découlent.

4.1.7 Raisonnement inductif

Contrairement au raisonnement déductif, le raisonnement inductif établit une relation entre des cas particuliers pour établir une loi générale. Deux étudiantes ont réussi à produire ce genre de raisonnement.

Elles ont commencé par se demander si la période d'oscillation dans un système masse-ressort est indépendante de l'amplitude. Leur hypothèse de départ était la suivante :

« Nous croyons que la période est indépendante de l'amplitude. »

Cindy et Mélanie, rapport de laboratoire

Pour vérifier leur hypothèse, elles ont pris plusieurs mesures de périodes et de fréquences et les ont rassemblées dans un tableau, rapporté ci-dessous.

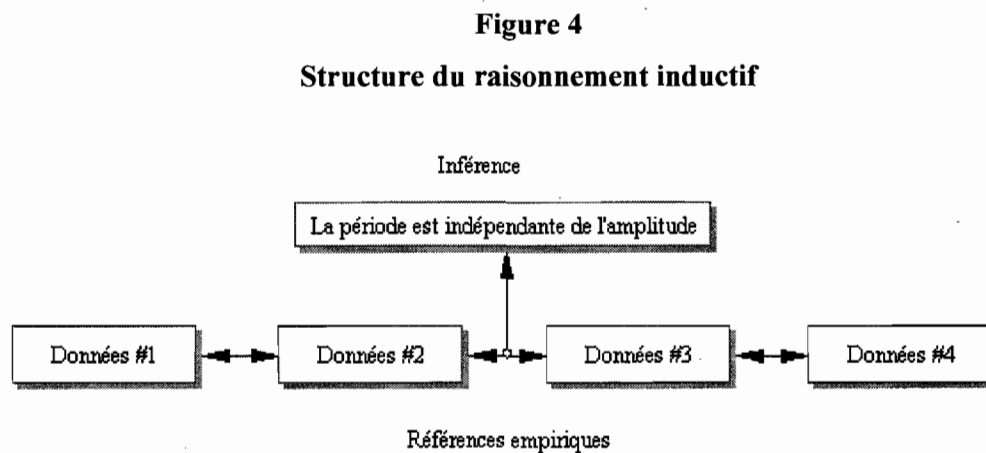
Tableau 7
Tableau des résultats du graphique de Cindy et Mélanie

Période	Amplitude du mouvement
secondes (s)	mètres (m)
0,9108	0,150
0,9108	0,140
0,9108	0,135
0,9108	0,130

Avec ces résultats, elles ont pu tracer un graphique de la dépendance entre la période et l'amplitude du mouvement. La conclusion obtenue relativement à leur hypothèse de départ est la suivante :

« En regardant le graphique de la position du ressort en fonction du temps, nous avons pu voir que la période était indépendante de l'amplitude, car lorsque l'amplitude diminuait, la période reste la même. »

Si l'on schématise le processus à l'aide de la figure 4 reprise du chapitre 2, on peut conclure à la présence d'un raisonnement inductif.



Des propositions, sous forme de données mathématiques, sont liées entre elles pour montrer l'indépendance de deux variables.

Pour assurer la présence d'un raisonnement inductif, il faut s'attarder à l'intention des étudiants. Dans cet exemple, ils cherchaient à déterminer la relation entre la période et l'amplitude, et ne voulaient pas simplement *confirmer* cette indépendance.

Autrement dit, cette même expérience de laboratoire aurait pu être déductive si les étudiants l'avaient commencé en disant :

« Nous savons que la période est indépendante de l'amplitude, selon la théorie vue en classe. Nous désirons dans cette expérience de laboratoire démontrer cette indépendance. »

Cette discussion sur la nature déductive et inductive des raisonnements en fonction de l'intention des étudiants mérite que l'on s'y attarde davantage.

Nature des raisonnements effectués par les étudiants dans le cadre d'expériences de laboratoire ouvertes

On peut dire que les raisonnements prennent plusieurs formes pendant une expérience de laboratoire ouverte. L'observation des raisonnements effectués en lien avec la structure de l'expérience et l'intention des étudiants nous fait remarquer que nous sommes en présence de raisonnements déductifs ou inductifs. Par contre, si les raisonnements tentent d'établir un lien entre deux variables, il s'agit probablement de raisonnements covariants ou conditionnels.

Cette distinction dans les catégories de raisonnements permet de répondre partiellement à la sous-question de la première question de recherche, à savoir :

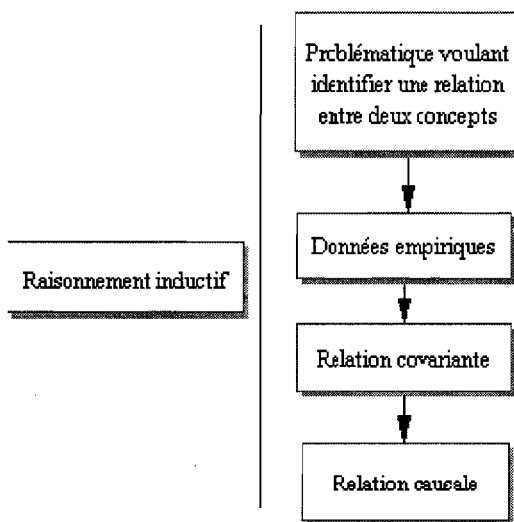
De quelle nature sont les raisonnements effectués par les étudiants dans le cadre d'expériences de laboratoire ouvertes en physique ?

Mais si l'on désire aller plus loin dans cette réflexion et répondre plus en profondeur à cette question, il faut reprendre des points saillants de la discussion sur les catégories de raisonnements. En observant attentivement, on se rend compte que les raisonnements sont principalement d'une double nature, à savoir par induction et par déduction.

Induction expérimentale

Le premier mode de raisonnement, inductif, a pour objectif d'identifier une relation entre deux concepts. Dans ce mode, à l'intérieur de la problématique initiale, il n'y a aucune référence à une loi formelle ou causale. C'est à partir des données empiriques que sera établie la covariation entre les concepts. Une fois obtenue, la covariation pourra être convertie en relation causale à l'aide de la table de covariation. La figure 7 résume ces propos.

Figure 7
Processus complet d'induction

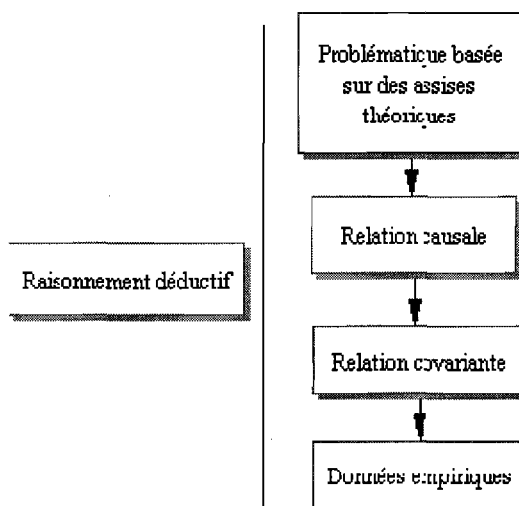


Comme le montre la figure, le mode de raisonnement inductif inclut une possibilité de raisonnement covariant et, si voulu, un raisonnement causal. Au minimum, les étudiants devront établir une covariation entre les concepts pour mener à bien leur expérience de laboratoire.

Déduction expérimentale

Le deuxième grand mode est le déductif. Dans ce cas, la problématique initiale est campée sur des assises théoriques et sur une relation causale connue. L'objectif est de prendre un cas particulier de la relation causale et de la valider par une étude de covariation entre des concepts choisis. La figure 8 présente ces propos :

Figure 8
Processus complet de déduction



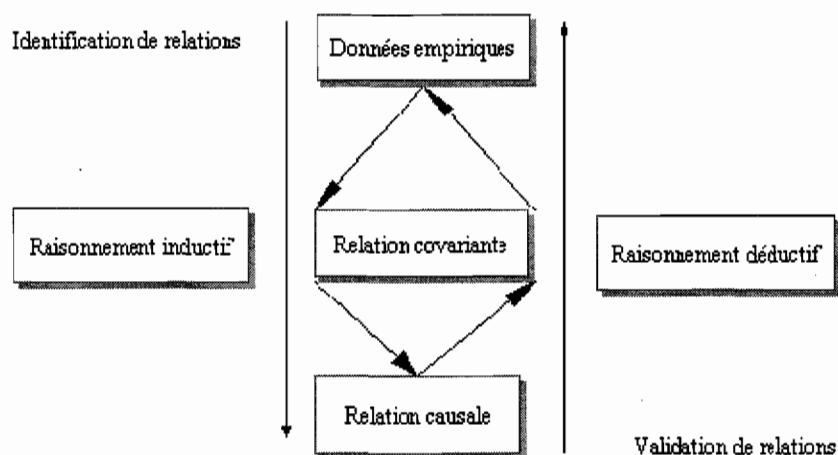
Il y a toujours possibilité pendant la déduction de réaliser des raisonnements causals et covariants. Les données empiriques permettent cette fois de valider la relation de covariation, et ultimement, la relation causale dans l'aspect étudié.

Que ce soit dans le mode de raisonnement inductif ou déductif, il est nécessaire d'avoir recours à la causalité et à la covariation. En d'autres mots, il est possible de comprendre que les raisonnements covariants et causals s'insèrent dans des modes de raisonnements plus grands que sont les raisonnements déductifs et inductifs.

Complémentarité des modes de raisonnement

À présent, si l'on synthétise les deux grands modes de raisonnement dans une figure, on s'aperçoit de leur complémentarité, surtout dans le cas d'un processus scientifique et expérimental complet.

Figure 9
Processus scientifique selon les deux grands modes de raisonnement



Cette figure illustre également la complémentarité entre les raisonnements causals et covariants, et situe bien le cadre dans lequel s'effectuent les expériences de laboratoire des étudiants (validation ou identification de relations).

4.2 Raisonnement scientifique

Sachant que les approches du raisonnement sont complémentaires, il est possible d'en tirer des conclusions et commencer à répondre globalement à la première question de recherche :

Les expériences de laboratoire ouvertes permettent-elles à des étudiants du Cégep de développer des raisonnements scientifiques ?

Les expériences de laboratoires ouvertes permettent effectivement à des étudiants de développer des raisonnements scientifiques. De plus, cette scientificité dépend du mode de raisonnement dans lequel se placent les étudiants, c'est-à-dire par déduction ou induction.

Suivant le mode raisonnement, la méthode scientifique employée variera sensiblement, par exemple au niveau de l'élaboration de la problématique. Celle-ci ne sera pas rédigée de manière identique si l'expérience de laboratoire vise à valider une loi ou à en établir une nouvelle.

Dans le cas où les étudiants voudront valider une loi, ils devront suivre la structure de la figure 8. Leur problématique devra être centrée sur l'énonciation d'un cadre théorique et la démonstration de liens causals entre les concepts à l'étude. À l'inverse, s'ils veulent établir une relation entre deux concepts, leur problématique sera davantage orientée vers la définition des concepts et sur les raisons qui les incitent à penser que ces deux concepts pourraient être dépendants ou indépendants l'un de l'autre.

Indépendamment de l'adaptation de la méthode scientifique selon le mode de raisonnement, il reste que certaines conditions sont essentielles en vue d'atteindre la scientificité dans les raisonnements. En effet, on peut difficilement concevoir une expérience de laboratoire où des étudiants feraient l'économie de raisonnements covariants et conditionnels. Comme il a été vu précédemment, les raisonnements conditionnels permettent d'établir la présence ou l'absence de relation entre les concepts, alors que les raisonnements covariants permettent de quantifier le lien qui les unit.

Scientificité des raisonnements et collecte des données

Un autre aspect central dans la scientificité des raisonnements touche la méthode de la collecte des données. Les données traitées doivent s'insérer dans un cadre expérimental, c'est-à-dire dans une structure méthodologique bien comprise par les étudiants afin qu'ils tirent des conclusions appropriées en fonction de leurs résultats. Pour les expériences de laboratoire à l'étude dans cette recherche, ceci se traduit par des habiletés cognitives telles que :

- Comprendre les notions de covariation et de conditionnalité;
- saisir les implications de choisir une méthodologie inductive ou déductive, par exemple au niveau de la définition de la problématique;
- savoir tracer des graphiques en fonction de la problématique émise;
- être en mesure de tirer des conclusions adéquates de tableaux et graphiques.

En plus des habiletés cognitives à développer à l'intérieur d'une collecte de données, le raisonnement scientifique se base sur la maîtrise et l'énonciation de concepts scientifiques.

On ne peut donc prétendre à la scientificité d'un raisonnement si une étude des concepts et de leur évolution n'est pas entreprise auprès des étudiants. Pour compléter l'étude du raisonnement scientifique et répondre plus en détail à la première question de recherche, de nouveaux indicateurs sont nécessaires, qui nous renseigneront sur la validité des concepts énoncés par les étudiants. À cet effet, les indicateurs de supposition et de référence sont présentés.

4.2.1 Supposition

Les étudiants émettent une supposition consciemment ou non. Elle est une proposition ou une partie de proposition qu'ils soumettent pour expliquer ce qu'ils observent. En voici un exemple.

« La longueur ce n'est pas la même, mais on a considéré que ce n'est pas un facteur. »

Christine, fiche 1, conversation 2, lignes 128-129

Les étudiants n'expliquent pas leur raisonnement, pourquoi ils énoncent cette supposition, mais la font tout de même. Ils prennent pour acquis que la longueur est une variable indépendante, mais sans structure pour justifier cette prise de position. La scientificité des résultats semble alors compromise.

Ce genre de cas revient souvent :

« Lui, il a la même tension dans l'un et dans l'autre harmonique. »

Christine, Fiche 1, conversation 1, ligne 39

Christine ne sait pas si la tension est réellement la même dans l'une et l'autre des harmoniques. Elle progressera ensuite dans l'expérience de laboratoire en faisant cette supposition, mais la proposition peut être fausse, ce qui risque d'invalidier tous les raisonnements subséquents.

Supposition et questionnement

Certaines suppositions sont énoncées sous forme de questionnement. Dans ces cas, les étudiants semblent plus conscients de l'incertitude entourant leurs paroles.

« Est-ce que ça se pourrait que lorsque l'on bouge le petit bloc de bois, une petite variation en millimètres ferait changer la valeur complètement ? »

David, fiche 3, conversation 1, lignes 64-65

Les suppositions sont importantes à la notion de raisonnement scientifique. Elles peuvent se baser sur des références, mais ne sont pas des hypothèses au sens défini dans cette recherche. Elles sont placées en dessous des hypothèses du point de vue de la scientificité, car elles sont moins formalisées, tant au niveau des concepts présents que de la structure. Elles constituent la pensée se structurant, en évolution, vers l'émergence d'un raisonnement scientifique.

Voici un autre exemple sous forme de question, avec une supposition contenant un concept imprécis :

« Je me demande pourquoi mon intensité diminue à haute fréquence. Ce ne serait pas des ondes qui se pognent mal ? »

Francis, Fiche 3, conversation 2, lignes 25-26

On voit que l'étudiant est en réflexion, en processus. Pour expliquer ce qu'il observe, il tente une explication et s'avance davantage que s'il demandait simplement au professeur : « pourquoi mon intensité diminue à haute fréquence ? ». Il fait une supposition, peu élaborée, mais qui démontre tout de même un début de raisonnement.

On perçoit l'importance de la définition des termes dans l'apprentissage des sciences. En cours de réflexion, Francis utilise son savoir de sens commun pour formuler une explication à propos de ses observations. Cette explication devra évoluer vers une plus grande scientificité, pour éventuellement atteindre le statut de référence.

4.2.2 Références

La référence est liée à un concept, à une donnée ou à une loi correctement émise. Elle est un point de repère dans le raisonnement, permettant aux étudiants d'avancer à coup sûr. Dans les verbatims, les références repérées se rapportaient généralement à des concepts ou à des lois.

« On va trouver le n et la correspondance avec le f »

David, fiche 3, conversation 1, ligne 124

Cet exemple comporte deux références conceptuelles, qui sont énoncées dans le but de regarder la covariation entre ces deux variables.

Ce n'est pas parce que l'on sait qu'une référence est vraie qu'elle permet à un raisonnement d'être scientifique. Par exemple, on a vu précédemment le raisonnement suivant :

« Si ce n'est pas la surface qui a un impact sur la sonorité, alors c'est la densité (3) ».

Benoît, Fiche 1, Conversation 1, Lignes 37-39

Les trois termes soulignés sont des références conceptuelles. Bien que la densité soit une référence relativement à la précision du terme, elle n'est pas assurément vraie dans cette situation, car elle n'a pas forcément de liens avec la sonorité.

Les références sont intéressantes afin d'identifier si les étudiants maîtrisent les concepts à l'étude en terme de contenu. Les suppositions, elles, traitent davantage du lien entre les propositions.

Conditions pour un raisonnement scientifique

Malgré ce qui vient d'être dit, nous ne croyons pas que le raisonnement scientifique doit contenir uniquement des références et des propositions toujours liées entre elles de manière valide. L'essentiel est que les étudiants *tendent vers* un raisonnement parfaitement énoncé.

Cette affirmation peut être supportée par plusieurs situations repérées dans les verbatims. Par exemple, des étudiants parlaient « d'ondes qui se pognent mal » au début de leur expérience, pour finir en parlant d'interférence destructive, une référence conceptuelle.

À un autre moment, d'autres étudiants ont supposé une dépendance de la période sur l'amplitude. À la fin de l'expérience, ils ont réussi à infirmer leur hypothèse et montrer qu'il y avait une dépendance.

Généralement, l'objectif d'une expérience de laboratoire apparaît clairement ici : permette aux étudiants de préciser leurs concepts et restructurer les relations entre les concepts.

Ceci se produit lorsqu'il est possible pour les étudiants de confronter leur registre théorique (concepts, relation entre les concepts) et le registre empirique (données expérimentales, résultats). Ainsi, c'est en regardant le processus des étudiants pendant l'expérience de laboratoire, mais surtout *a posteriori* qu'il sera possible de juger si le raisonnement des étudiants a réellement été scientifique suite à une expérience de laboratoire.

Comme autre élément de discussion, ajoutons que l'évolution conceptuelle réalisée par les étudiants pendant les expériences de laboratoire doit être en lien avec leur niveau scolaire. Si l'on prend l'exemple suivant :

« La fréquence varie en fonction de la longueur. »

Charles et Catherine, rapport de laboratoire

Cet énoncé correspond à leur conclusion après leur questionnement sur la dépendance de la fréquence en fonction de la longueur d'une corde. Bien qu'ils ont pu conclure sur leur questionnement de départ, leur réponse ne peut être considérée comme scientifique étant donné leur bagage scientifique comme étudiants en Sciences de la nature au cégep. Pour des étudiants du primaire ou du secondaire, cette réponse pourrait être acceptable scientifiquement.

Résumé des apports sur le raisonnement scientifique

Si l'on résume succinctement les apports de cette recherche concernant le raisonnement scientifique, on peut dire que :

- La validité du raisonnement scientifique est contextualisée pour une expérience de laboratoire précise, pour un étudiant donné se trouvant à un niveau académique précis;
- il s'agit d'un processus évalué *a posteriori*;
- il doit se faire à l'intérieur d'une méthode scientifique variant selon le type d'expérience de laboratoire entreprise;
- certaines habiletés cognitives sont nécessaires à l'étudiant, entre autres en terme de collecte et d'interprétation des données.

4.3 Changement conceptuel

Le raisonnement scientifique doit ainsi être contextualisé pour un ordre d'enseignement précis pour avoir un sens. Il s'évalue également dans le cadre d'un processus où les concepts sont en évolution. Pour évaluer cette progression dans les concepts, il faut un point de départ solidement défini. Ce sont les préconceptions des étudiants qui permettent d'obtenir ce point d'ancrage. Ce n'est qu'une fois les préconceptions mises en évidence qu'il est possible d'étudier les processus d'évolutions des concepts, c'est-à-dire de faire l'étude des changements conceptuels des étudiants.

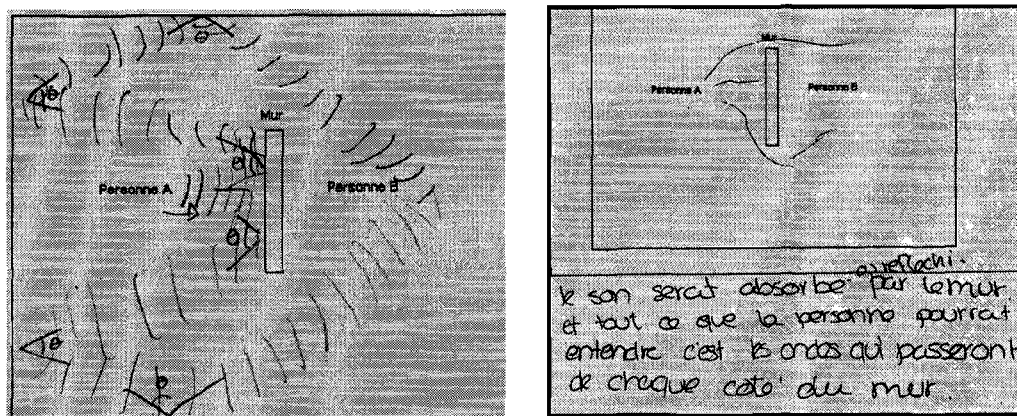
4.3.1 Préconceptions

Ainsi, s'il est possible de bien connaître l'état cognitif des étudiants avant le début d'une expérience de laboratoire, il est beaucoup plus facile par la suite de réussir à produire le changement conceptuel escompté.

Pour étudier les préconceptions, un certain nombre d'entre elles ont été relevées avant chaque expérience de laboratoire à l'aide d'un questionnaire ouvert, mais de manière insuffisante et incomplète pour agir comme un tremplin adéquat pour étudier correctement le changement conceptuel. Une analyse qualitative de ces données a permis de se rendre compte de la diversité des préconceptions face à certains concepts scientifiques. L'exemple suivant sur la trajectoire du son permet d'établir que la trajectoire du son diffère considérablement en fonction de l'individu, conformément au propos de la littérature sur le sujet (Lautrey & Mazens, 2003; 2004).

Figure 10

Exemple de préconceptions sur la propagation du son



Étudiant 1

Étudiant 2

Dans notre étude, l'étudiant 1 utilise les lois connues de la réflexion pour la propagation du son (l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion). Un deuxième étudiant propose une trajectoire courbe pour le son, afin que la personne B puisse l'entendre. Cette vision de la trajectoire du son a été repérée par Lautrey et Mazens (2003; 2004), chez des étudiants du primaire qui traçaient le même genre de schéma. Ceci montre bien la durabilité des préconceptions, car même après un enseignement formel sur le sujet, ce qui a été le cas avec le concept de la propagation du son une semaine auparavant, cette préconception est restée ancrée chez les étudiants participant à notre étude.

Citons un autre exemple de préconceptions, où il est demandé aux étudiants comment, selon eux, il est possible de modifier la période d'un pendule. Leurs réponses ont été de dire que la période varie en fonction de l'amplitude du mouvement, de l'angle initial, de la **longueur de la corde**, de la vitesse du pendule et de la **valeur de la constante gravitationnelle**. Or, les lois de la physique actuelle

attestent que seules la longueur de la corde et la valeur de l'attraction gravitationnelle ont un impact sur la période.

Avant d'observer les changements conceptuels qui auraient pu se produire dans les expériences de laboratoire suite à la mise en évidence de ces préconceptions, il faut débiter par une discussion autour des indicateurs permettant de rendre compte de ces changements conceptuels.

4.3.2 Interrogation

L'indicateur d'interrogation est très large. Facilement repérables par le caractère interrogatif de la proposition, plusieurs types de questions peuvent être amenés par les étudiants. Certaines de ces questions sont pertinentes, alors que d'autres ne le sont pas du tout, comme la suivante :

« Est-ce que l'on peut changer de laboratoire ? »

David, fiche 3, conversation 1, ligne 7

Une question d'ordre logistique ne renseigne en rien sur le changement conceptuel, si ce n'est de l'intérêt pour la tâche. On peut aussi rencontrer une question liée à la problématique :

« Laquelle des deux peaux est la plus dense ? »

Christine, fiche 1, conversation 2, ligne 114

Ce genre de question montre les manques d'un étudiant par rapport à un certain concept ou à un lien possible entre deux concepts. Bien que très large, elle indique que les étudiants n'ont pas un cadre théorique bien construit.

La réponse donnée à cette question par Christine a été de dire que la peau de vache est plus dense que celle d'une chèvre, étant donné que la corpulence de la vache est plus grande. Ce genre d'hypothèse se rapproche d'une explication émanant d'un cadre théorique naïf.

Une autre question repérée concerne la définition des concepts :

« Il y a une autre conversion pour l'accélération gravitationnelle (1), est-ce que 9,8 newtons par kg c'est pareil à 9,8 mètres par seconde carrée ? »

Jérôme, fiche 6, conversation 2, ligne 12

Très ciblé, ce questionnement semble être le fait d'un cadre théorique assez bien élaboré et cohérent. La proposition (1) indique que l'étudiant peut faire la conversion, mais qu'il cherche une deuxième façon de la réaliser. Il suggère même une possibilité pour la conversion, preuve d'une certaine assimilation des concepts présents.

Ainsi, pour l'indicateur d'interrogation, nous pouvons dire que dans cette étude, il aurait fallu tisser un cadre conceptuel plus précis autour de cet indicateur afin de pouvoir déterminer le rôle qu'elles ont à jouer dans le changement conceptuel. Ceci étant dit, les questions posées semblent pertinentes pour évaluer l'étendue du cadre

théorique des étudiants. Dans l'émission des questions, la cohérence des étudiants semble importante, comme le propose Vosniadou (1994).

4.3.3 Conflit cognitif

Aucun conflit cognitif n'a été relevé. Certains cas s'en rapprochent, mais les deux visions contradictoires nécessaires au conflit ne sont pas assez apparentes dans les verbatims pour assurer la présence de cet indicateur. Voici un exemple où nous sommes sur le point d'assister à un conflit cognitif :

« Dans le fond, on cherche comment faire une note constante, pour avoir un graphique constant. Il n'y a rien que l'on peut faire... »

Francis, fiche 3, conversation 1, lignes 25-26

Comme le conflit cognitif ne doit pas être seulement une question ou un manque dans les connaissances, la situation précédente peut difficilement être considérée comme un conflit cognitif. Les étudiants, qui cherchent à faire une note constante, ne savent tout simplement pas comment y arriver.

À l'inverse de ce qui se produit dans un conflit cognitif, qui suppose la présence de deux solutions (celle des étudiants et celle du professeur, par exemple), aucune solution n'est présente dans ce cas-ci.

Ceci nous amène à dire que dans le cas des expériences de laboratoires ouvertes, le changement conceptuel ne semble pas se produire par conflits cognitifs.

Comme ce type d'expérience de laboratoire est en continuité avec les préconceptions présentes chez les étudiants, ceux-ci ont plutôt tendance à réorganiser leurs concepts de manière à fournir une explication à un phénomène observé, conformément au processus d'assimilation décrit par Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982).

Reprenons le cas de Benoît, qui tente de comprendre comment il est possible d'obtenir expérimentalement l'harmonique $n=1$:

« D'accord. Quand tu frappes au centre, c'est toute la corde qui vibre en résonance. C'est vraiment de ce nœud-là, à ce nœud-là. »

Benoît, fiche 1, conversation 2, lignes 75-76

Ici, Benoît, qui ne savait pas comment produire l'harmonique $n=1$, ajoute une nouvelle information à son cadre théorique. Avec la forme expérimentale de l'onde, Benoît fait le lien entre la présence de nœuds aux extrémités de la corde et la théorie vue en classe. On ne peut dire si Benoît a effectué un changement conceptuel et, si oui, sur quoi il l'a fait. Par contre, on peut raisonnablement croire qu'une restructuration s'est produite entre la notion de nœud et de fréquence de résonance, ce qui appuie les propos de diSessa (1993) à propos des primitives (*p'prims*) et de leur restructuration.

Les expériences de laboratoire ouvertes semblent donc permettre de redéfinir et mieux cerner les concepts impliqués dans les phénomènes intervenant durant l'expérience de laboratoire. De même, elles permettent de modifier les préconceptions des étudiants, en définissant la présence ou l'absence de liens entre

des concepts. Nos résultats ne nous permettent cependant pas de démontrer qu'il y a effectivement changement conceptuel chez les participants de cette étude.

En terminant, pour aller plus loin dans l'analyse et l'interprétation des résultats, un cas sur une expérience de laboratoire complète est présenté. Il aborde le concept de mouvement harmonique simple, avec la situation du pendule simple. L'hypothèse de départ des étudiants est la suivante :

« Il est techniquement impossible d'avoir un mouvement harmonique simple à cause de la gravité et du frottement de l'air. »

Mélissa, fiche 5, conversation 1, lignes 2-3

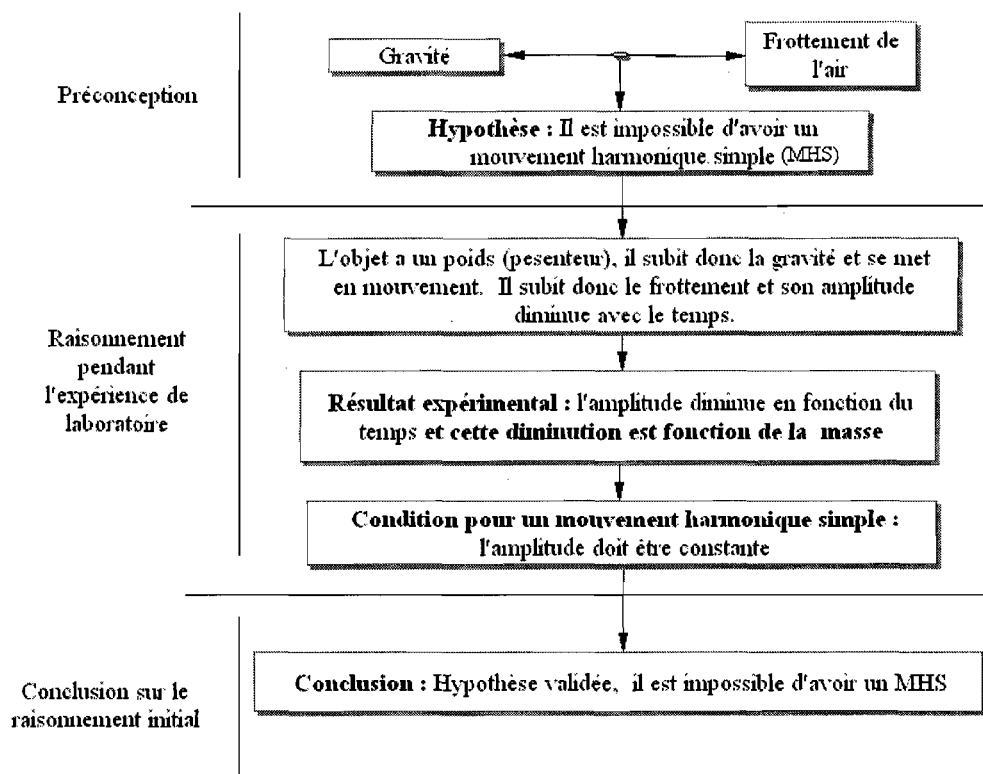
Dans l'expérience, les étudiants justifient cette affirmation en disant que :

« L'objet a une pesanteur, il subit la gravité, et la gravité pousse l'objet, qui subit donc un frottement. Son amplitude ne peut pas être constante. »

Mélissa, fiche 5, conversation 1, lignes 15-17

Si l'on schématise ce raisonnement déductif de la part de Mélissa, on obtient :

Figure 11
Évolution des préconceptions dans une expérience de laboratoire ouverte
portant sur le pendule simple



Après avoir fait leur hypothèse, les étudiants ont réussi à démontrer à l'aide d'un graphique que l'amplitude diminuait effectivement en fonction du temps.

Ceci valide donc leur préconception voulant que le pendule simple ne puisse être rencontré dans la vie quotidienne. En plus de cette confirmation conceptuelle, les étudiants continuent leur expérience de laboratoire et réussissent à montrer que l'amplitude du mouvement diminuait plus ou moins rapidement selon la masse accrochée au bout du pendule.

Cette évolution cognitive se produit par addition de la nouvelle information sur la préconception déjà présente. Les étudiants ont conservé la cohérence de leur savoir, entrant dans le processus que Vosniadou (1994) énonce comme celui d'enrichissement.

On peut ainsi supposer que le savoir scientifique est, du moins en partie, en continuité avec le savoir de sens commun, comme l'affirment Niedderer (1978) et Brown & Clement (1989).

L'objectif des apprentissages en situation d'expérience de laboratoire serait alors de créer des liens à partir des préconceptions des étudiants, afin qu'ils puissent construire leurs connaissances et leur compréhension des phénomènes.

Avec cet exemple, il est possible de donner quelques éléments de réponse à la deuxième question de recherche :

Les expériences de laboratoire ouvertes incitent-elles des étudiants collégiaux (17-18 ans) à opérer des changements conceptuels ?

Pour être rigoureux et rester dans les limites permises par cette étude avec les indicateurs que nous avons choisis, il n'est pas possible de conclure sur cette question, car les résultats ne sont pas suffisamment substantiels.

Par contre, des éléments de réponse pertinents à la sous-question suivante peuvent être donnés :

Quelles catégories de changements conceptuels peuvent être décelées chez ces étudiants lors d'expériences de laboratoire ouvertes sur le mouvement harmonique simple en physique ?

Les résultats obtenus dans le cadre de cette recherche suggèrent que le savoir acquis par les étudiants pendant l'expérience de laboratoire ouverte est graduel et qu'il se construit en continuité avec leur savoir. Ceci correspond à une catégorie de changement conceptuel s'identifiant à l'enrichissement, tel que défini par Vosniadou (1994). Des résultats ont aussi été observés appuyant les propos de diSessa (1993) concernant la présence de primitives.

Dans le cadre de cette étude et des indicateurs qui ont été retenus, l'accent a été mis sur le repérage et l'évaluation de concepts, d'une part, et sur leur mise en relation d'autre part. Le choix de l'étude du raisonnement scientifique et du changement conceptuel par la logique propositionnelle a certainement orienté les résultats obtenus.

Si l'on analyse ces résultats, on constate que tant les modes de restructuration des concepts par les primitives de diSessa (1993) que le mode d'enrichissement de Vosniadou (1994) ont été les modes d'évolution conceptuelle les plus présents. Ceci ne nous surprend pas, car ces catégories impliquent de pouvoir repérer un état cognitif (préconceptions) à un instant donné et de pouvoir établir qu'un nouveau lien

a été créé avec cette préconception. Nos indicateurs avaient exactement cette fonction, d'où le fait qu'on a pu observer ce type d'évolution conceptuelle.

Quant aux autres catégories de changements conceptuels, telles la révision de cadre théorique spécifique ou général de Vosniadou (1994) et une mauvaise catégorisation ontologique des concepts selon Chi (1997), nous pouvons affirmer à présent qu'elles nécessitent des indicateurs plus élaborés et des situations pédagogiques finement sélectionnées afin de pouvoir en tirer des conclusions.

Étant donné que ces catégories sont plus complexes à observer, l'emploi de nos indicateurs reste ainsi selon nous approprié pour une première étude des processus cognitifs à l'intérieur des expériences de laboratoire ouvertes.

De plus, nous pouvons confirmer que dans une expérience de laboratoire ouverte, les étudiants ont des préconceptions, les font évoluer graduellement en tissant des liens entre les concepts et en les redéfinissant, toujours en s'assurant de garder une cohérence dans leurs théories. Cet apport à la communauté scientifique nous semble appréciable.

4.4 Limites de l'étude

4.4.1 Questionnaire des préconceptions

Le même questionnaire sur les préconceptions a été distribué aux étudiants, peu importe la problématique choisie. Ainsi, bien que ce questionnaire ait permis de cerner certaines préconceptions des étudiants, notamment sur le son, le mouvement harmonique simple et les instruments de musique, il a été difficile d'utiliser ces préconceptions dans l'analyse de l'évolution des concepts des étudiants. En effet, les étudiants n'employaient pas nécessairement leurs préconceptions pendant leur expérience de laboratoire, ce qui nous empêchait de voir une évolution.

4.4.2 Transcription et verbatims

Le verbatim a été transcrit avec précision et minutie. Malgré tout, certains passages n'ont pu être analysés, à cause d'une mauvaise qualité de l'enregistrement.

L'enregistrement audio comporte des limites. Dans certains cas, l'explication ou la discussion des étudiants était appuyée par une gestuelle non verbale dont la connaissance aurait permis de mieux saisir les propos des étudiants. Les discussions, quant à elles, référaient à des écrits au tableau ou sur une feuille de papier, par exemple dans le cas d'explication d'équations. L'expérience de laboratoire fait fréquemment intervenir une théorie nécessitant l'emploi d'un symbolisme particulier, que l'on doit visualiser lors des interactions. À ce sujet, l'utilisation de l'enregistrement vidéo aurait été pertinente.

Aussi, les explications entre le professeur et les étudiants se déroulaient souvent autour des instruments de mesure de l'expérience de laboratoire. À l'audition, il est parfois difficile de repérer le matériel utilisé et de comprendre la discussion en cours, étant donné les fréquentes références aux gestes posés à l'ordinateur, sur les tam-tams, etc. Voici un exemple où l'enregistrement vidéo aurait pu être un atout :

« J'ai enregistré la fréquence et le pic obtenu ici ne semble pas être le double de celui-là. »

Mathieu, fiche 2, conversation 3, ligne 70

Beaucoup de raisonnements informels, mais pertinents pour l'étude du raisonnement se passent entre les étudiants lorsque le magnétophone n'est pas en fonction, c'est-à-dire lorsque le professeur se trouve à un autre endroit. Il est légitime de se demander si le fait d'être enregistré et en conversation avec le professeur modifie la conversation et le type de raisonnement effectué par les étudiants. Lorsque laissés à eux-mêmes, on peut penser qu'ils réfléchissent aux problèmes qu'ils rencontrent, et construisent et déconstruisent leur savoir par les discussions entre les pairs.

Malgré cela, avec la somme de données recueillies et la variété et la quantité des raisonnements observés, nous croyons que cet aspect n'a pas été néfaste dans notre analyse des résultats.

Malgré l'aspect limitatif de l'enregistrement audio et le fait que certaines conversations ont dû être retirées, le verbatim a permis d'atteindre l'essentiel des objectifs de la collecte de données. Plusieurs indicateurs ont été repérés, qui ont permis de faire émerger des catégories de raisonnements et des raisonnements scientifiques. Étant donné la saturation des données, les conversations manquées ou inaudibles n'auraient probablement pas offert plus d'informations.

Conclusion

CHAPITRE 5

Le présent chapitre vise tout d'abord à synthétiser les principaux apports de cette recherche, en effectuant un retour sur les objectifs qu'elle s'était fixés au départ.

Ensuite, des pistes de réflexions concernant les retombées pédagogiques sont proposées. Il est principalement question du rôle de l'expérience de laboratoire ouverte dans un contexte d'enseignement des sciences de la nature au cégep.

Finalement, une critique plus globale des expériences de laboratoire ouvertes est réalisée. Ceci est fait en tenant compte des processus cognitifs qui peuvent être développés dans ce contexte, ainsi qu'en analysant l'intérêt des étudiants face à l'utilisation de cette stratégie pédagogique.

5.1 Retour sur les objectifs de recherche

Deux grands objectifs avaient été identifiés. Ces derniers concernent le raisonnement et le changement conceptuel.

Objectif sur le raisonnement

L'objectif sur le raisonnement voulait décrire les raisonnements d'étudiants à l'aide de la logique propositionnelle. Il se divisait en deux sous-objectifs, soit :

- 1) Déceler et catégoriser la présence de raisonnements covariants, causals, conditionnels, analogiques, déductifs et inductifs ;
- 2) établir la scientificité de raisonnements repérés.

L'objectif sur le raisonnement a été atteint avec succès. En effet, de nombreux raisonnements ont été décelés dans la situation d'expérience de laboratoire ouverte, ce qui constitue en soi une retombée importante de notre recherche. La logique propositionnelle s'est avérée un outil précieux pour identifier rigoureusement des raisonnements effectués par des étudiants dans le cadre d'une expérience de laboratoire.

De plus, l'étude sur le raisonnement a mis en évidence deux grands modes de raisonnements pendant l'expérimentation scientifique : l'induction et la déduction. Bien que ces deux modes soient bien connus, cette recherche a le mérite de confirmer leur présence dans des expériences de laboratoire ouvertes. De plus, elle a permis de caractériser davantage ces modes de raisonnements, en y définissant précisément le rôle des raisonnements covariants et causals (voir figures 7, 8 et 9).

Pour ce qui est des raisonnements scientifiques, la présente recherche a réitéré l'importance d'une méthode appropriée pour évaluer la validité des raisonnements et la nécessité pour les étudiants de posséder certaines habiletés cognitives pour mener à bien leur expérience de laboratoire (génération d'hypothèses, compréhension de la Eurêka, production de graphiques, évaluation de la validité des données empiriques, etc.).

Le lien entre le raisonnement scientifique et le changement conceptuel apparaît clairement du point de vue de l'évolution des concepts. Alors que le raisonnement scientifique observe des états cognitifs précis par le biais de propositions, le

changement conceptuel tente de caractériser les mécanismes d'évolution des concepts.

L'étude du changement conceptuel a d'ailleurs été le deuxième grand objectif de cette recherche.

Objectif sur le changement conceptuel

Le point de départ de cet objectif consistait à repérer les préconceptions des étudiants relativement aux concepts du mouvement harmonique simple et des ondes sonores. À ce sujet, des résultats entourant certaines des préconceptions du pendule simple et de la propagation des ondes ont été présentés.

À la suite de leur identification, la deuxième partie de cet objectif voulait observer l'évolution de ces préconceptions, de manière à décrire les changements conceptuels opérés. Malheureusement, il a été très difficile de voir évoluer les préconceptions en fonction des indicateurs retenus.

Entre autres, il a été plus difficile que prévu d'observer la présence de conflits cognitifs. Souvent, les verbatims permettaient de percevoir que l'étudiant était en questionnement, mais il était ardu de décrire précisément la situation de conflit elle-même.

Pour que cet indicateur ait pu être observé, une situation pédagogique particulière dans laquelle on confronte l'étudiant à ces préconceptions et où on lui demande de verbaliser ses raisonnements aurait été nécessaire.

À cet égard, une étude du conflit cognitif dans des expériences de laboratoire ouvertes construites pour observer cet indicateur constitue une piste de recherche intéressante.

Malgré tout, à l'aide des évolutions conceptuelles repérées, cette recherche suggère que l'acquisition de nouvelles connaissances se produit en continuité avec les connaissances antérieures des étudiants, tel qu'il est expliqué dans la discussion.

5.2 Retombées pédagogiques et didactiques

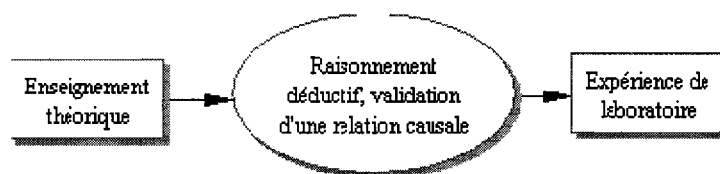
Les réponses aux questions de recherche et aux objectifs concernant le raisonnement scientifique suggèrent que les étudiants ont parfois de la difficulté à bien définir les concepts lorsqu'ils les utilisent. Le rôle du professeur en situation d'expérience de laboratoire ouverte apparaît donc comme celui d'un guide, qui posera les bonnes questions aux étudiants afin que ces derniers précisent leur raisonnement d'un point de vue conceptuel. Le professeur peut ainsi les inciter à discuter entre eux ou à consulter des ouvrages de référence pour valider leurs propos. De la même façon, lorsque des références à des lois sont effectuées incorrectement ou que des suppositions ne sont pas appuyées, il est du rôle du professeur de rectifier la situation et de questionner les étudiants sur leurs préconceptions. Autrement dit, les expériences de laboratoire ouvertes militent pour une pédagogie du questionnement et de la découverte.

L'induction et la déduction dans un contexte d'expérience de laboratoire

Si l'on analyse plus généralement la stratégie pédagogique que sont les expériences de laboratoire ouvertes, on constate, à la lumière des résultats de cette recherche, qu'il est possible d'aborder ce type d'expérience de laboratoire de deux façons distinctes. Essayons de les schématiser, en y ajoutant l'enseignement théorique des concepts.

Figure 12

Structure déductive d'utilisation des expériences de laboratoire



Ce premier cas, où l'on a tout d'abord un enseignement théorique des concepts, amène des expériences de laboratoire pendant lesquelles les étudiants veulent s'assurer de bien comprendre la théorie qui leur a été présentée. Ils veulent étudier les relations entre les concepts, montrer les covariations et visualiser les phénomènes. Ceci mène à une grande production de raisonnements déductifs par les étudiants en situation d'expérience de laboratoire. Bien que les bienfaits d'une telle structure ne soient plus à établir, il reste qu'un pan complet de l'apprentissage des sciences est laissé de côté : celui de l'induction et celui de la découverte expérimentale.

Pour cette raison fondamentale, nous croyons qu'il est nécessaire de rétablir un certain équilibre afin de refléter plus justement l'investigation scientifique. Cette recherche a montré qu'il est possible que des étudiants produisent des raisonnements

inductifs à l'intérieur d'expériences de laboratoire. L'induction fait appel à des habiletés et des compétences que la déduction ne permet pas, comme la créativité et le développement de l'autonomie chez les étudiants. Mais surtout, nous croyons qu'il s'agit d'un mode d'apprentissage plus approprié qui contribue à montrer aux étudiants la nature des sciences par la compréhension des processus impliqués dans les découvertes scientifiques.

Ainsi, nous croyons qu'il serait bénéfique de construire des cours de sciences possédant la structure suivante :

Figure 13
Structure inductive d'utilisation des expériences de laboratoire



En procédant ainsi, les étudiants n'auraient d'autres choix que d'utiliser leurs préconceptions pour élaborer leur expérience de laboratoire, n'ayant pas reçu d'enseignement théorique au préalable sur le sujet.

Il n'est pas question ici de juger si les cours devraient être donnés uniquement selon une structure inductive ou selon un enseignement classique déductif des expériences de laboratoire. À ce stade-ci, nous croyons qu'il serait pertinent d'étudier les impacts d'une structure inductive sur les raisonnements des étudiants afin d'observer si des raisonnements inductifs y seraient plus fréquemment rencontrés.

Aussi, étant donné que ce type d'expériences garde un espace aux étudiants pour présenter leurs résultats et en discuter avec d'autres équipes, le professeur pourrait construire son cours théorique en fonction des lacunes observées. Comme le professeur aura vu les étudiants raisonner sur le sujet pendant les expériences de laboratoire, il sera en mesure de doser sa présentation théorique.

Présentation des résultats dans les expériences de laboratoire ouvertes

Une autre conclusion importante à souligner est l'importance de la phase de présentation des résultats dans les expériences de laboratoire ouvertes. En effet, c'est à ce moment que les étudiants peuvent présenter oralement leurs résultats aux équipes de laboratoire et qu'ils peuvent synthétiser leur compréhension du phénomène à l'étude en plus d'illustrer le processus qu'ils ont adopté.

D'un point de vue pédagogique et didactique, cet aspect est extrêmement intéressant, car il permet au professeur de constater le processus complet des étudiants en très peu de temps. D'un même souffle, les étudiants sont confrontés à la critique des autres équipes, qui les questionnent sur la validité de leurs raisonnements et sur la rigueur de leur collecte de données. À cet égard, l'aspect de la présentation des résultats mériterait à elle seule une étude complète tant sur les habiletés développées pendant la prestation que sur l'interaction entre les équipes afin de construire un savoir valide et scientifique.

Considération sur le choix du type d'expérimentation en laboratoire

Nos résultats montrent de manière définitive que les expériences de laboratoire ouvertes permettent une multitude de raisonnements chez les étudiants.

Nous voyons difficilement comment il serait possible de produire une aussi grande diversité de raisonnements dans un contexte d'expérience de laboratoire fermée, alors que l'environnement est contrôlé. En fait, comment serait-il possible d'y faire de l'induction ? Bien qu'il soit possible d'imaginer que l'on puisse guider les étudiants « pas à pas » dans la découverte d'une loi, nous croyons que cette façon de faire appauvrirait le processus d'induction. Si tout est calculé et que les étudiants savent qu'ils trouveront la bonne relation à l'avance, le processus d'induction perd de son impact pour l'apprentissage.

À notre avis, les expériences de laboratoire ouvertes, de par la diversité des raisonnements qu'elles permettent et de par la vision plus juste du processus scientifique qu'elles proposent, méritent d'être davantage intégrées dans les cursus scolaires de sciences. Du point de vue des processus cognitifs, le constat semble clair. Mais qu'en est-il au niveau de l'intérêt des étudiants pour ce type de laboratoires ?

Intérêt des étudiants face aux expériences de laboratoire individualisées

Étant donné la nouveauté pédagogique et didactique des expériences de laboratoire ouvertes, une évaluation a été effectuée auprès des étudiants afin de connaître leur appréciation de ce type d'expérience de laboratoire. Un premier questionnaire a été passé avant leur initiation aux expériences de laboratoire ouvertes, et un deuxième similaire, mais non identique à la fin du cours. Ces questionnaires peuvent être consultés en appendice F du présent document.

Le questionnaire est une version traduite et adaptée du questionnaire « Student's image of science as they relate to labwork learning » (Leach, Millar, Ryder, Séré, Hammelev, Niedderer & Tselfes, 1998). Il a été validé par deux chercheuses indépendantes.

Les résultats de ce questionnaire indiquent que la conception des étudiants à l'égard des expériences de laboratoire a évolué au cours de la session. Au départ, aucun des étudiants n'avait mentionné qu'une expérience de laboratoire permettait de faire des découvertes par soi-même, alors qu'après leur mise en contact avec les expériences de laboratoire ouvertes, 4,4 % en faisaient mention.

À la question « Qu'est-ce que vous aimez dans les laboratoires ? », 21,2 % des répondants indiquent qu'ils aiment avoir de l'autonomie dans leur apprentissage au laboratoire. Cette réponse n'était pas présente avec les expériences de laboratoire fermées. Cependant, à la question « Qu'est-ce que vous aimez moins dans les expériences de laboratoires ? », 8,8 % des répondants ont indiqué ne pas aimer avoir de l'autonomie dans leur apprentissage, alors qu'avec les expériences de laboratoire

fermées, cette réponse n'était pas présente. Somme toute, on peut conclure que l'aspect de l'autonomie dans l'apprentissage dans les expériences de laboratoire ouvertes semble être apprécié par les étudiants.

Finalement, à la question « Aimez-vous mieux ce type de laboratoire comparativement à la méthode traditionnelle que vous utilisez depuis votre entrée au cégep ? », 63 % des répondants ont indiqué préférer ce type d'expérimentation, 20 % mentionnent n'avoir aucune préférence, et 17 % disent préférer la méthode traditionnelle. Sans prétendre à une étude systématique et rigoureuse sur le sujet, ces données semblent indiquer un intérêt certain pour ce type d'expériences.

Nous concluons donc cette recherche en synthétisant les principaux mérites des expériences de laboratoire ouvertes, que ce soit en terme de possibilités de raisonnements, de possibilité de mise en évidence des préconceptions, de sa souplesse pédagogique et de l'intérêt qu'elles suscitent chez les étudiants.

Liste de Références

- American Association of Physics Teachers. (1999). What is Science ? Consulté le 7 Juin 2007, sur le site Web : http://www.aps.org/policy/statements/99_6.cfm.
- Astolfi, J.-P. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences : repères, définitions, bibliographies*. Bruxelles, De Boeck-Wesmael.
- Benson, H. (2005). *Physique. Ondes, optique et physique moderne*. 3^{ème} édition. Montréal, ERPI.
- Berry, A., Gunstone, R., Loughran, J. & Mulhall, P. (2001). Using laboratory work for purposeful learning about the practice of science. Dans Behrendt, H., Dahncke, H., Duit, R., Graber, W., Komorek M., Kross A., Reiska, P., *Research in science education - past, present, and future*. Londres, Kluwer Academic Publishers.
- Box, G. E. P., Hunter W. G. & Hunter, J. S. (1978) *Statistics for Experimenters : An Introduction to Design, Data Analysis and Model Building*. New York, Wiley.
- Brown D. E. & Clement, (1989). Overcoming misconceptions by analogical reasoning :abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*. 18, 237-261
- Buty, C. (2004). *Étude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique*. Thèse de doctorat inédite, Université Lumière Lyon 2.
- Buty, C. & Cornuéjols, A. (2002). Évolution des connaissances chez l'apprenant. Dans Tiberghien, A. *Des connaissances naïves au savoir scientifique*. Synthèse commandée par le programme « École et sciences cognitives ».
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories : examples from learning and discovery in science. Dans Giere, R.N., *Cognitive Models of sciences*. The University of Minnesota Press.
- Chi, M.T.H. (1997) Creativity : Shifting across ontological categories flexibly. Dans Ward, T.B., Smith, S.M., and Vaid, J., *Creative thought : An investigation of conceptual structures and processes*. Washington, DC, American Psychological Association.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. A. (1994). From things to processes : A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Claugh, M.P. (2002). Using the laboratory to enhance student learning. Dans Bybee, R. W. *Learning science and the science of learning*. Arlington, Virginie, NSTA Press.

- Collège Shawinigan. (2006). *Le Collège Shawinigan, naturellement*. Prospectus 2006-2007.
- Conseil des collèges. (1990). *Vers l'an 2000 : les priorités de développement de l'enseignement collégial*. Québec, Gouvernement du Québec.
- Conseil supérieur de l'éducation. (1975). *Le Collège : rapport sur l'état et les besoins de l'enseignement collégial*. Québec.
- Dewey, J. (1938-1967). *La théorie de l'enquête*. Paris, Presses universitaires de France.
- diSessa, A.A. (1993). Toward and epistemology of physics. *Cognition and instruction*, 10(2), 105-225.
- diSessa, A.A. (1996). What do just plain folk know about physic ? Dans D.R. Olson et N. Torrance. *The handbook of Education and Human Development : New Models of Learning, Teaching and Schooling*. Oxford, Blackwell Publishers, Grande-Bretagne, 709-730.
- diSessa, A.A. (2004). Metarepresentation : Naïve Competence and Target for Instruction. *Cognition and Instruction*, (22)3, 293-331.
- Donaldson, N.L. & Odom, A. L. (2001). *What makes it swing ?*, Science Activities, 38(2), 29-33.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. Dans Schnotz, W., Vosniadou, S., Carretero, M., *New perspectives on conceptual change* Boston, Pergamon.
- Duit, R., Goldberg, H. & Niedderer, H. (1991). Research in Physics Learning : Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of an International Workshop, Bremen, Allemagne.
- Enger, S. (1998). Profiling Middle School Science Inquiry Experiences Using Student and Teacher Survey Data. *Présenté à la rencontre annuelle de la National Association for Research in Science Teaching*. San Diego, Avril 1998.
- Fédération des cégeps. (2006). Le Cégep, un outil de scolarisation et de développement. Récupéré le 10 Avril 2006 de : <http://www.fedecegeps.qc.ca/index.php?section=13>.
- Fortin, F., Côté J. & Fillion, F. (2006). *Fondements et étapes du processus de recherche*. Montréal, Chenelière-Education.
- Furtak, E. (2003). Questioning Cycle : Making Students' Thinking Explicit during Scientific Inquiry. *Science scope*, 28(4), 22-25.

- Gauch, H. (2003). *Scientific method in practice*. Cambridge, Cambridge University Press.
- George, C. (1997). *Polymorphisme du raisonnement humain : une approche de la flexibilité de l'activité inférentielle*. Paris, Presses universitaires de France.
- Gingras, F.-P. (2005). La sociologie de la connaissance. Dans Gauthier, B. *Recherche sociale. De la problématique à la collecte des données*. Québec, Presses de l'Université du Québec.
- Giordan, A. (1998). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris, Belin.
- Givry, D. (2003). Le concept de masse en physique : éléments sur les conceptions et les obstacles. *Didaskalia*, 22, 41-67.
- Gowin, D. B. (1970). The structure of knowledge. *Educational Theory*, 20, 319-328.
- Granby, R., & Duschl, R. (2005). Reconsidering the Character and Role of Inquiry in School Science : Analysis of a Conference. *International History and Philosophy of Science and Teaching Group meeting*. Leeds, Angleterre, du 15 au 18 Juillet.
- Haince, R. (2000). Les sciences dans les collèges du Québec : point de vue sur le nouveau programme en sciences de la nature dans l'enseignement collégial au Québec. *Didaskalia*, 16, 135-136.
- Halbwachs, F. (1971). Causalité linéaire et causalité circulaire. Dans Bunge, M., Halbwachs, F., Kuhn, Th. S., Piaget, J. & Rosenfeld, L., *Les théories de la causalité*. Paris, Presses universitaires de France.
- Halliday, D. Resnick, R. & Walker, J. (2004). *Ondes, optique et physique moderne*. Traduction de Carbonneau, Y., Lafrance, R. & Parent J. Montréal, Édition Chenelière/ McGraw-Hill.
- Harrison, A. & Treagust, D.F. (2001). Conceptual change using multiple interpretive perspectives : Two case studies in secondary school chemistry. *Instructional Science*, 29, 45-85.
- Harrison A.G. & De Jong, O. (2005). Exploring the Use of Multiple Analogical Models When Teaching and Learning Chemical Equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 00(0), 1-25.
- Johnson, B. & Christensen, L. (2004). *Education research : Quantitative, qualitative and mixed approach*. Londres, Blackwell.
- Joshua, S. & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, Presses universitaires de France.

- Kang, S., Scharmann, L.C., Noh, T. & Koh, H. (2005). The influence of students' cognitive motivational variables in respect of cognitive conflict and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 27(9), 1037-1058.
- Kuhn, D., Amsel, E. & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. Toronto, Academic Press.
- Kuhn, D. Black, J., Keselman A. & Kaplan, D. (2000). The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognition and Instruction*, 14, 495-523.
- Kuhn, D. & Lao, J. (1998). Contemplation and conceptual change : Integrating perspectives from social and cognitive psychology. *Developmental Review*, 18, 125-154.
- Lautrey, J. & Mazens, K. (2003). Conceptual change in physics : children's naïve representations of sound. *Cognitive Development*, 18, 159-176.
- Lautrey, J. & Mazens, K. (2004). Is children naïve knowledge inconsistent ? A comparison of the concepts of sound and heat. *Learning and Instruction*, 14, 399-423.
- Lawson, A.E. (1994). Research on the Acquisition of Science Knowledge : Epistemological Foundations of Cognition. Dans, Gabel, D.L. *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Macmillan Publishing Company.
- Leach, J. (2002). The use of secondary data in teaching about data analysis in a first year undergraduate biochemistry course. Dans Psillos, D. & Niedderer, H. *Teaching and Learning in the Science Laboratory*. Amsterdam, Kluwer Academic Publishers.
- Leach, J., Millar, R., Ryder, J., Seré, M.G., Hammelev, D., Niedderer, H. & Tselfes V., (1998). Students' images of science as they relate to labwork learning. Working paper of L.S.E. project.
- Leblanc, H. & Widsom, W. A. (1972). *Deductive Logic*. New York, Allyn and Bacon.
- Legendre, M.-F. (2002). Le rôle du raisonnement qualitatif dans les processus de changement conceptuel et ses implications pour l'enseignement et la formation des enseignants. Dans Toussaint, R., *Changement conceptuel et apprentissage des sciences : recherches et pratiques*. Logiques.
- Levasseur, L. (2000). La dérive instrumentale de la formation générale dans les collèges du Québec. *Sociologie et sociétés*, 23(1), 197-211.
- Lhoste, Y. (2005). La construction du savoir scientifique en classe de Sciences de la Vie et de la Terre : problématisation, argumentation et conceptualisation : Le cas

de la circulation sanguine dans un débat scientifique en classe de 3ème. Chicoutimi, Mai 2005.

- Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change : a critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11, 357-380.
- Limón, M. & Carretero, M. (1999). Conflicting data and conceptual change in history experts. Dans W. Schnotz, S. Vosniadou, et M. Carretero. *New perspectives on conceptual change*. Boston, Pergamon.
- Lochhead, J. & Collura, J. (1981). A cure for cookbook laboratories. *The Physics Teacher*, (19)1 46-50.
- Marine, S. (2003). Building skills with Reiterative Lab Projects. *Journal of chemical education*, 80(4), 366-367.
- Marcotte, A. (2004). *Les apports de l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) en pédagogie par projet en Sciences de la nature au collégial*. Thèse de doctorat inédite, UQAM.
- McMillan, J. & Schumacher, S. (2001). *Research in Education : A conceptual introduction*. New York, Longman.
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2007). Récupéré le 13 Avril 2007 de : <http://www.mels.gouv.qc.ca/ens-sup/ens-coll/cahiers/program/200B0.asp>.
- Ministère de l'Éducation du Québec. (2000). Projets d'expérimentation en sciences de la nature de 1994-1997. Récupéré le 15 Avril 2007 de <http://www.mels.qc.ca>.
- Ministère de l'enseignement supérieur et de la science. (1993). *Des collèges pour le Québec du XXI^e siècle*. Québec.
- Morin, M. (1997). *Les croyances de professeurs du collégial à l'égard de l'applicabilité des contenus d'apprentissage et des méthodes d'enseignement de la méthode scientifique au laboratoire dans le programme science de la nature*. Thèse de doctorat inédite, UQAM et UQAR.
- Noveck, I.A. (2002). Le raisonnement propositionnel. Dans Politzer, G., *Traité de Sciences cognitives : le raisonnement humain*, Paris, Hermès, 103-136.
- National Science Teacher Association. (2006) *NTSA position statement*. Récupéré le 5 Janvier 2007 de <http://www.nsta.org/positionstatement&psid=16>.
- Niedderer, H. (1978). A teaching strategy based on students' alternative frameworks –theoretical conceptions and examples. Dans *Proceedings of the Second*

International Seminar. Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Cornell University

Nussbaum, J. & Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation : toward a principled teaching strategy, *Instructional Science*, 11, 183-200.

Orange, C. (2001), *Séminaire de didactique des disciplines technologiques, Problème(s) et technologie; Éclairage pluriels.* Cachan, 2000-2001. Paris, INRP.

Perelman, C. & Olbrecht-Tyteca, L. (1958). *Traité de l'argumentation.* La nouvelle Rhétorique. Paris, Presses universitaires de France.

Peter, E. (2005). Reforming Cookbook Labs. *Science scope : Science scope a journal for middle junior high science teachers*, 29(3), 16-21.

Polacek, K. (2005). Easy Ways to Promote Inquiry in a Laboratory Course : The power of Student Questions. *Journal of college science teaching*, 35(1), 52-55.

Pôle de l'Est. (1996). *Processus de planification d'un cours centré sur le développement d'une compétence.* Rimouski : Regroupement des collèges PERFORMA.

Popper, K. (1934-1973). *La logique de la découverte scientifique.* Paris, Édition Payot.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception : Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.

Pushkin, D. (1997). Where Do Ideas for students Come from ? *Journal of College Science Teaching*, 26, 238-242.

Roth, W-M. & Roychoudhury, A. (1993). The Development of science Process Skills in Authentic Contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(2), 127-152.

Savoie-Zajc, L. (2005). L'entrevue semi-dirigée, dans Gauthier, B. *Recherche sociale : De la problématique à la collecte de données.* Paris, Presses de l'Université du Québec.

Séjourné, A. (2001). *Conception d'un hypermédia et analyses de l'influence de l'organisation des contenus sur l'activité des élèves : Le cas de « Labdoc Son et Vibrations ».* Thèse de doctorat, document inédit, Université Lumière Lyon 2.

Séré, M.-G. (2002). Towards Renewed Research Questions from the Outcomes of the European Project Labwork in Science Education, *Science Education*, (86)5, 624-644.

- Shepardson, D. P. (1997). The nature of student thinking in life science laboratories. *School Science & Mathematics*, 97, 37-44.
- Sinatra, M. & Pintrich, P. R. (2003). *Intentional Conceptual Change*. Mahwah, N.J., Lawrence Erlbaum.
- SRAM (2004). Rapport annuel 2003-2004. Service d'admission du Montréal métropolitain.
- Statistique Canada (2002). *À la croisée des chemins : Premiers résultats pour la cohorte des 18-20 ans de l'Enquête auprès des jeunes en transition*. Disponible en ligne <http://www.statcan.ca/francais/freepub/81-591-XIF/81-591-XIF2000001.pdf>.
- Therrien, É. (2005). *Les instruments de musique*. Protocole de laboratoire réalisé au département de physique du cégep de Drummondville (diffusion limitée).
- Toussaint, J. (1996). *Didactique appliquée de la physique-chimie : éléments de formation pour l'enseignement*. Paris, Nathan.
- Toussaint, R. (2002). « Dis, Archimède! Comment ça flotte ? ». Dans Toussaint, R., *Changements conceptuels et apprentissage de systèmes complexes*. Logiques.
- Trumper, R. (2003) The Physics Laboratory – A historical Overview and Future Perspectives, *Science & Education*, 12, 645-670.
- Veermans, M., Lallimo, J. & Hakkarainen, K. (2005). Patterns of Guidance in Inquiry Learning. *Journal of Interactive Learning Research*. 16(2), 179-194.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and Modeling the Process of Conceptual Change. Dans Special Issue on Conceptual Change, *Learning and instruction*, 4(1), 45-69.
- Vosniadou, S. & Brewer, W.F. (1992). Mental models of the earth : A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Westbrook. S.L & Rogers, N.L. (1996). Doing is believing : Do laboratory experiences promote conceptual change. *School Science and Mathematics*, 96(5), 263-272.
- Woolnough, B. E. (1991). Setting the scene. Dans Woolnough, B.E., *Practical science*. Buckingham, Open University Press.
- Zimmerman, C. (2000). The Development of Reasoning Skills. *Developmental Review*, 20, 99-149.
- Zimmerman, C. (2005). *The development of scientific reasoning : What psychologists contribute to an understanding of elementary science learning*.

Document produit pour la National Research Council's Board of Science Education, Consensus Study on Learning Science, Kindergarten through Eight Grade.

Liste des Appendices

Appendice A

Programme Sciences de la nature au Collège Shawinigan

Session 1

Formation générale commune et complémentaire	Pond.
109-103-02 Santé et activité physique	1-1-1
340-103-04 Philosophie et rationalité	3-1-3
601-101-04 Écriture et littérature	2-2-3
#1 Formation générale complémentaire	3-0-3
Formation spécifique	
201-NYA-05 Calcul différentiel et intégral I	3-2-3
202-NYA-05 Chimie générale	3-2-3
203-NYA-05 Mécanique	3-2-3

Session 2

Formation générale commune et complémentaire	Pond.
109-104-02 Objectifs personnels et activité physique	0-2-1
340-102-03 Philosophie : l'être humain	3-0-3
601-102-04 Littérature et imaginaire	3-1-3
604-100-03 Anglais, langue seconde	2-1-3
Formation spécifique	
201-NYB-05 Calcul différentiel et intégral II	3-2-3
202-NYB-05 Chimie des solutions	3-2-3
203-NYB-05 Électricité et magnétisme	3-2-3

Session 3

Formation générale commune et complémentaire	Pond.
109-105-02 Habitudes de vie	1-1-1
601-103-04 Littérature québécoise	3-1-4
604-PRU-SW Anglais, langue seconde	3-0-3
Formation spécifique	
101-NYA-05 Évolution et diversité du vivant	3-2-3
202-GYA-SW Chimie organique I	2-2-2
203-NYC-05 Onde et physique moderne	3-2-3
601-888-02 Épreuve uniforme de français	

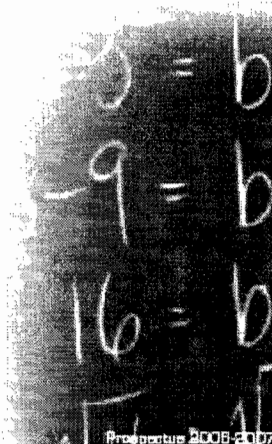
10 • Collège Sherbrooke

Session 4

Formation générale commune et complémentaire	Pond.
340-GMP-03 Philosophie et éthique	3-0-3
601-GMP-04 Production de discours	2-2-2
#2 Formation générale complémentaire	1-2-3
Formation spécifique	
101-GYA-SW Biologie générale II	2-2-2
201-NYC-05 Algèbre vectoriel et linéaire, géométrie	3-2-3
360-GYA-SW Activité d'intégration en sciences de la nature	1-2-3
090-200-B0 Épreuve (activité) synthèse	

CHOISIR UN (1) COURS PARMI L'ÉVENTAIL SUIVANT :

101-GYB-SW Biologie métabolique	2-2-2
201-GYA-SW Calcul différentiel et intégral III	2-2-2
202-GYB-SW Chimie organique II	2-2-2



Prospéctus 2006-2007

Appendice B

Formulaire de consentement éclairé

Appendice C

Mises en situation d'expériences de laboratoire ouvertes

Le pendule simple

Jana a toujours été impressionné par les horloges grand-père. Récemment, elle s'est rendue dans une boutique pour en acheter une. Elle s'est alors aperçue que certaines horloges avaient de grosses masses accrochées au bout du pendule, alors que d'autres étaient géométriquement plus petites. Pourtant, le marchand lui a affirmé que toutes indiquaient la bonne heure, et donc qu'elles prenaient le même temps pour faire un aller-retour.

Comme Jana est votre amie et que vous avez une formation scientifique, elle vient vous consulter pour que vous lui confirmiez que le marchand dit vrai. Elle vous a d'ailleurs apporté un peu de théorie liée aux pendules, car elle a essayé de trouver la réponse par elle-même, mais toutes ces équations la dépassaient.

Le pendule simple

Un pendule simple consiste en une **masse m** suspendue à une corde (théoriquement sans masse) de longueur L . Lorsque la masse est tirée de côté puis relâchée, elle oscille suivant un arc de cercle autour de sa position d'équilibre, suivant l'équation d'un MHS.

La **période T** est le temps nécessaire pour une oscillation complète (un aller-retour) du pendule. Au bout d'un intervalle de temps T , la position x est la même que la position au début de l'intervalle.

D'après vous, de quoi dépend la période d'un pendule simple ? Que répondrez-vous à Jana au sujet des horloges grand-père ?

Instruments de musique

Piste #1 : Fréquences de résonance dans une corde de guitare

Les guitares se classent dans la catégorie des instruments à cordes. Pour en jouer convenablement, il faut arriver à faire résonner les cordes, en créant des ondes stationnaires. Ceci se produira si la fréquence d'excitation de la corde correspond à une fréquence de résonance de la corde.

Une relation très importante qui a été vue dans la section 2,7 du livre Benson montre la relation permettant de trouver les fréquences de résonance sur la corde. La voici exprimée mathématiquement :

$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

où T représente la tension dans la corde. Dans le matériel à votre disposition, des cordes de guitares possédant une masse linéique connue peuvent être employées.

Piste #2 : La flûte à bec ou Péruvienne

Les flûtes font partie de l'univers musical de plusieurs pays à travers le monde. Un peu sous le même principe que la flûte de Pan, mais avec des modes de résonance plus complexes, on peut se demander comment sont produits les sons dans cette flûte et quelles sont les longueurs du tuyau qui sont utilisées pour émettre les sons de la gamme (Do, ré, mi, fa sol, la, si, do), toujours selon le principe d'un tuyau ouvert.

Piste #3 : L'Effet Doppler

L'effet Doppler est un phénomène qui a été découvert par le physicien autrichien Christian Doppler en 1842. Le principe est le suivant : lorsqu'il y a un mouvement relatif entre une source et son observateur, cela a pour effet de faire varier la fréquence perçue par l'observateur. Mathématiquement on aura que :

$$f' = \left(\frac{v \pm v_0}{v \pm v_s} \right) f$$

Dans le matériel que vous pourriez utiliser, il existe des générateurs de fréquences et des diapasons permettant d'émettre des fréquences précises. De plus, des détecteurs de mouvement peuvent être employés pour mesurer des vitesses.

Piste #4 : L'Amortissement dans un mouvement harmonique

Selon la définition du mouvement harmonique simple (MHS), il a été vu que l'amplitude du mouvement ne devait pas varier en fonction du temps. Or, dans les mécanismes réels où ce principe est employé, on constate que l'amplitude diminue en fonction du temps. Parfois, en génie mécanique par exemple, c'est même ce qui est souhaité. La courbe de l'amplitude en fonction du temps s'exprime selon l'équation ci-dessous :

$$A(t) = A_0 e^{\frac{-t}{2m}}$$

On peut penser entre autres aux systèmes sous-amortis, amortis de manière critique et surcritique. Est-ce que ces systèmes mécaniques existent et quelles lois suivent-ils ?

Piste #5 : Échelle des décibels

Comme il a été vu en classe, l'échelle des décibels pour l'oreille humaine s'exprime ainsi :

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

où I_0 vaut $1 \times 10^{-14} \text{ W/m}^2$

Il existe un appareil appelé *sonomètre* qui permet de mesurer l'intensité du son, que l'on possède au laboratoire.

Piste #6 Autres pistes avec les instruments de musique

Réflexion générale sur les instruments de musique, si un analyseur de fréquence est disponible pour l'expérience :

- Essayer d'obtenir un son pur et mesurer sa fréquence
- Pour un même son, est-ce que le contenu harmonique change à chaque essai ?
- Pour un même instrument, est-ce que le contenu en harmonique change de note en note ?
- Est-ce que la théorie des tubes ouverts correspond à ce qui est observé ?
- Quelles voyelles ont les plus importants contenus de fréquences harmoniques élevées
- Qu'est-ce que le timbre d'un instrument ? Montrer la différence de timbre entre deux instruments distincts

Appendice D

Questionnaires ouverts sur les préconceptions

Questions sur le pendule simple

Nom : _____

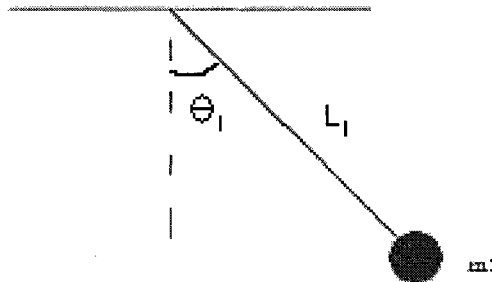
Groupe : _____

1 a) Qu'est-ce qu'un pendule ?

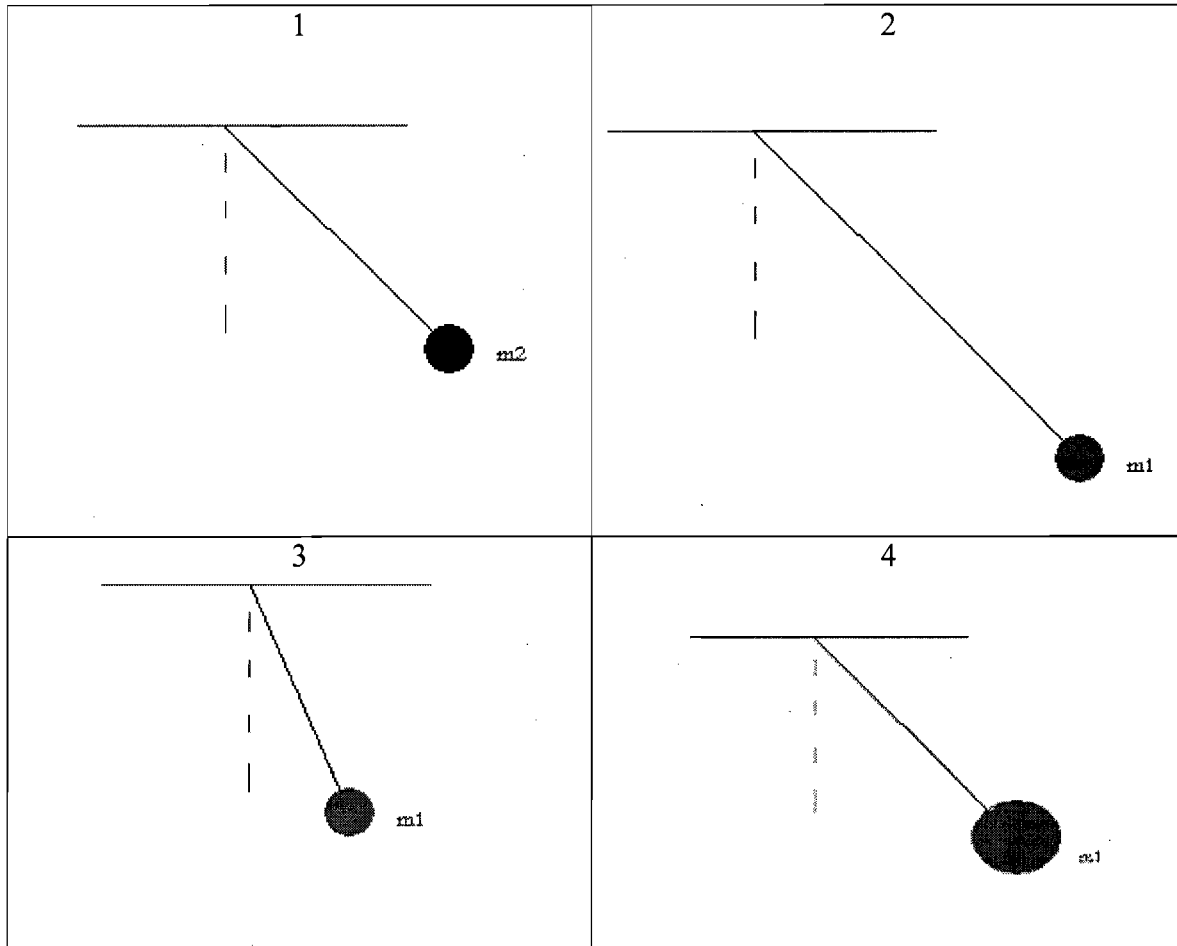
b) Peut-on approximer que le pendule simple possède un fil sans masse ? Pourquoi pensez-vous que l'on fait cette approximation ?

2) Par rapport au pendule de référence, justifiez précisément comment ($<$, $>$, $=$) sera le temps d'aller-retour (période) des pendules 1, 2, 3, 4 par rapport à la période du pendule de référence. Répondre sur la feuille suivante.

Référence :



Situations :



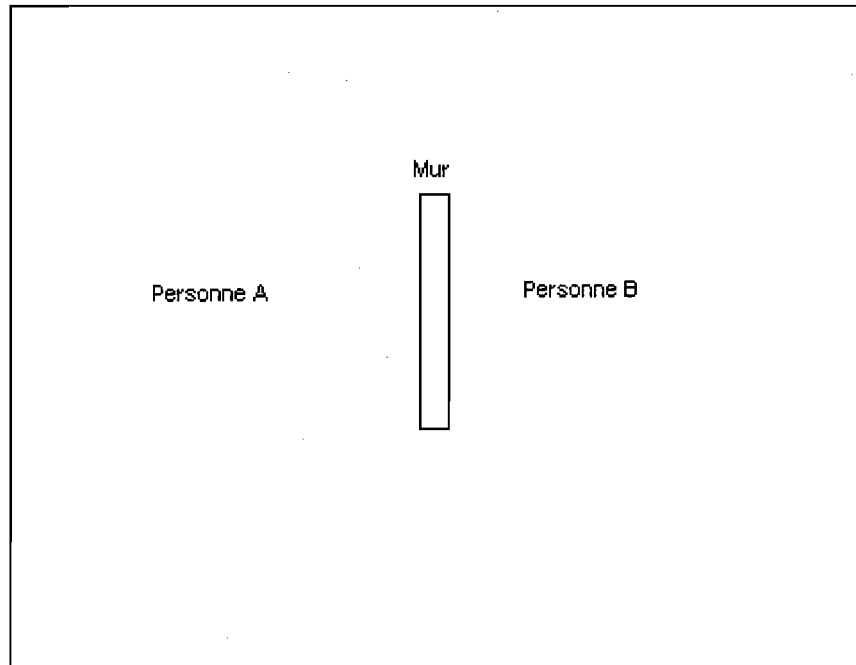
#	Période ($<$, $=$, $>$)	Justification
1		
2		
3		
4		

3) Quels autres instruments ou outils ou objets peuvent être considérés comme des applications du pendule ?

Questions sur le son

Nom : _____

1) Une personne A chante dans la pièce ci-dessous pendant qu'une personne B se trouve de l'autre côté d'un mur. Est-ce que cette dernière sera en mesure d'entendre chanter ? Justifiez votre réponse avec des explications et en dessinant la trajectoire du son.



2) Expliquer comment se propage le son dans l'air. Vous pouvez utiliser des schémas, analogies, etc. Se propage-t-il jusqu'à l'infini ou s'arrête-t-il avant ?

3) Est-ce qu'un son dans l'air se propagera à la même vitesse que s'il est émis dans l'eau ? En fait, peut-il se propager dans l'eau ? Expliquer vos réponses.

4) Nommer des types de son que vous connaissez

Questions sur les instruments de musique

Nom : _____

- 1) Qu'est-ce qui permet au guitariste de jouer plusieurs notes ?

- 2) Expliquer comment est produit le son dans un instrument de musique comme une flûte à bec.

- 3) Comment pouvez-vous entendre un son produit par un instrument de musique ? (autant au niveau de la propagation que de l'audition)

- 4) La forme d'un violon a-t-elle une importance dans le son que vous entendez ? Si oui, dans quelle mesure ? Sinon, expliquer pourquoi. À quoi servent les clés rattachées aux cordes du violon selon vous ?

Appendice E

Exemple de fiche synthèse

FICHE 1

DONNÉES

Les deux conversations se retrouvent sur la cassette 1, leur début étant aux pages 13 et 26

LABORATOIRE 3 : Les instruments de musique

Équipe A : Benoît et Christine

Description de la situation :

Dans le cadre de leur laboratoire sur les instruments de musique, Christine et Benoît ont décidé d'apporter leur tam-tam et de le comparer à celui du professeur, suite à une réflexion que les peaux utilisées dans la confection des tams-tams ne sont pas tous les mêmes.

1.1 HYPOTHÈSE(S)

Questionnement : La provenance de la peau du tam-tam ainsi que la densité de celle-ci influence-t-elle la sonorité d'un instrument de percussion ?

Hypothèse : Nous avons pensé que la peau de chèvre avait peut-être une densité surfacique moins élevée que celle de la vache étant donné leur corpulence.

1.2 CUEILLETTE DE DONNÉES

Conversation #1 : Christine : Ça c'est ton tam-tam, ça c'est le mien. Dans le cas où on était dans le milieu, on a obtenu 128.6 (Mots inaudibles). Puis, pour le côté, ça devenait encore plus aigu : 532.9 et 514.5 Simon : D'après moi c'est logique, ça donne plus haut aussi. Benoît : Oui de base (mots inaudibles). S : Ça, aucune idée, effectivement là. On peut savoir. B : C'est quoi (<i>mot inaudible à cause de quelque chose qui tape dans le fond</i>) qu'on peut attendre ? C'est quoi le minimum ? S : Il n'y a pas de minimum, il y en a de (12 jusqu'à 20). C'est 128 Hhz,	
--	--

le minimum c'est 20 Hz, là vous l'attendez c'est correct. Sauf que/

C : Il va y avoir un gros écart, moi je trouve entre les deux.

S : Oui oui. Je ne sais pas, si on s'en va dans ($L=2$) ici. Admettons L est égal/

(rire de F).

S : Ça fait 360. Dans $L=4$. (mots inaudibles), ça fait 520. Ça a de l'allure. Ici ça dit quoi ? 107/

S : 114/

Fois 4+

B : 428.

S : Ça peut être dans l'autre d'après.

C : Ah oui!

S : C'est 107/

B : Ça fait un écart quand même!+ Ça pourrait être ça.

S : Attends je vais aller/

B : Il y a une incertitude dans cette histoire là.

516.+

B : (Mot inaudible)

S : 516 +

C : On va essayer d'en avoir entre les deux, entre ces deux valeurs là. +
Ça serait le fun d'essayer puis de voir.++

S : Entre le milieu et le côté.

C : Oui c'est logique, dans le fond, dans le cas le plus+ oh++

B : Les deux c'est pareil.

S : Si tu mets les tambourins un par-dessus l'autre, tu te rends compte que les deux surfaces sont pareilles.

B : D'accord. Donc, ce n'est pas la surface qui a un impact sur la sonorité.

(Mot inaudible).

S : Le problème c'est que vous ne savez pas s'ils ont la même tension.

C : Lui, il a la même tension dans un et dans l'autre harmonique. Donc on peut trouver, en les isolant (*mots inaudibles, des bruits dans le fond*).

B : Si ça c'est les bons ...

Mots inaudibles

S : On ne peut pas vraiment être sûr et certain. Mais ça, trouver une incertitude à ça, c'est quoi on lui donne... ?

B : Regarde, admettons, tu es ici, (mot inaudible) il est à 108, ...il est à 110, ...à gauche il est à 103 (mot inaudible). Lui il y va vraiment par coche ...

(*quelque chose tape au fond dérange une bonne audition de la conversation*)

C : Le minimum plus le maximum

(T'as 2)

B : Non. 110.8 moins 105

En dégageant la fréquence (mots inaudibles).

(Mots inaudibles) c'est quoi la longueur de la corde ?

<p>S : Ok, mais dans un cas on peut avoir la longueur de la corde (mots inaudibles) vous faites ce Do là, le Do c'est quoi finalement, c'est cette longueur au complet là.</p> <p>S : Admettons, moi je peux jouer avec le deuxième Do ici + (mot inaudible) ça serait la longueur de cette corde-là...</p> <p>C'est ça exact.</p> <p>C : Nous autres on devrait calculer de même (mots inaudibles).</p> <p>S : Parce que là vous avez pas mal d'inconnus. L est inconnu, N qui est inconnu, dans le fond il y a (<i>mot inaudible, quelque chose frappe et fait du bruit de fond</i>). Donc, vous n'avez pas comme le choix de poser certaines (mot inaudible). Admettons vous pourriez prendre Do ici, après ça avec le Do, puis la longueur corde, là vous allez pouvoir, admettons, trouver la tension...parce que N (<i>ou L</i>) c'est le fondamental ici.</p> <p>(Mots inaudibles).</p> <p>S : Oui ça c'est le 1 oui. Exact, (la racine la plus élevée) dans le fond c'est (V) la vitesse de propagation, vous allez pouvoir trouvez déjà c'est une bonne étape/</p> <p>B : (Mot inaudible) L pour chaque ?</p> <p>S : Là si vous avez L, N, (F) vous allez pouvoir (Mot inaudible) Oui.</p> <p>B : Ça, ce n'est pas bon, parce que quand tu changes L, admettons Do puis La est là.</p> <p>S : Ben, au début quand tu fais juste ça ici, là tu vas voir/</p> <p>B : Ok. Quand tu fais ça comme ça, c'est toute corde qui vibre en résonance. C'est vraiment de ce nœud-là, à ce nœud-là.</p> <p>C : On va le mettre.</p> <p>S : Oui c'est ça, tu peux le mettre (mot inaudible).</p> <p>B : Chaque (mot inaudible) à calculer la longueur, ...puis avec ...on peut trouver la vitesse.</p>	
--	--

S : Si tu as été capable sous la même forme (mot inaudible) comme ça, admettons ton nœud va être là, jusqu'à là. Là tu vas voir comme deux équations, deux inconnus, là tu vas pouvoir trouver ...

C : $F = 1$ certain, puis l'autre bord qui est ++

S : Vous ne pourrez pas trouver (mot inaudible), parce que dans les deux cas (mot inaudible). Ce n'est pas vrai, parce que tu mets ton doigt là ...

(Mots inaudibles, S parle de loin)

F : Ben on a trouvé ça là, (mots inaudibles) lorsqu'on change la longueur de la corde, la fréquence change.

S : Oui. Si tu mets plus de propagations, tu changes ta longueur vous allez voir/

B : Là admettons (mot inaudible) lorsqu'on a trouvé des fréquences pour différentes notes, on va calculer la longueur que ça prend, avec ça on va pouvoir trouver la vitesse (mot inaudible) après ça, on pourra faire d'autres ... c'est quoi la fréquence, (c'est quoi) la longueur ? C'est bon.

C : Il est moins quand même pas mal.

Conversation #2 :

Présentation orale de l'expérimentation à une autre équipe

B : Nous autres, nous avons deux tam-tams, le tam-tam à Simon et le tam-tam à Christine. Puis, on savait que la peau sur laquelle on frappait ce n'était pas la même, il y avait une différence de densité de la peau. Puis, on s'est dit laquelle des deux qui est plus dense ?

F2 : C'est quoi les peaux ?

B : La vache et la chèvre.

F2 : Comment ça vous le saviez ?

B : Avec l'aide du professeur.

F2 : Ok.

B : Puis là, on a calculé, on a pris les tam-tams, admettons, on a commencé avec le tam-tam à Simon, on a identifié deux harmoniques à l'aide de WINSCOPE. Puis on a fait la même chose, on a trouvé deux harmonies pour le tam-tam à Christine. Après ça, nous autres ce qu'on voulait faire c'est passé par la formule des $F = NV \text{ SUR } 2L$, pour genre isoler puis arriver à un Mais ça ne marche pas. Parce que le ... ça ... toujours/

C : Nos surfaces étaient les mêmes, on a comparé avec nos tam-tams, puis la longueur ce n'est pas la même, on a considéré que ce n'est pas un facteur. (mots inaudibles) on pouvait comparer l'un à l'autre, admettons, tout dépendant de l'endroit qu'on frappait, ça donnait un son différentil y avait vraiment beaucoup d'incertitude parce que (mots inaudibles)

B : ...qu'est-ce qu'on peut trouver par exemple sur la vitesse de propagation ?

(S parle plus bas)

B : Ce n'était pas exactement, exactement...

C : On les a mis l'un par-dessus l'autre puis/

S : Vous comparez les rayons... ?

C : La surface où on tapait ?

S : Non, ...tam-tam!

C : La surface du ...était égale.

(S donne des explications sur un thème lié à la guitare et au violon et interagi avec les étudiants, mais, il est loin de l'enregistreur)

C : Tu sais quand tu joues du violon là...

S : Oui *(Mots inaudibles, S parle encore de loin)*.

B : Moi je ne sais pas jouer la guitare mais il y en a qui joue avec ...

S : Je ne sais pas. Il en a ceux qui aiment jouer avec les mains. Les autres avec les ...ça dépend des ...Mais si tu veux avoir une note précise tu fais quoi ?

1.3 ANALYSE DES RÉSULTATS (synthèse par points)

- Analyse d'un graphique de la fréquence en fonction de la longueur.
- Cause d'erreur dans la position du maximum du graphique : bruit ambiant, difficile de frapper toujours au même endroit
- Piste de solution à cette limite de l'expérimentation
- Trois essais réalisés pour le centre et les côtés, avec valeur moyenne
- Comparer les fréquences obtenues avec une référence théorique
- Mise en évidence du manque de données pour répondre à la question initiale
- Par contre, mise en évidence de la vitesse de propagation plus rapide dans la peau de vache

1.4 CONCLUSION (éléments importants)

Il est pourtant plausible de croire que la propriété des matériaux utilisés dans la fabrication des instruments de musique peut avoir un lien avec la qualité des sons émis. Malheureusement, nous n'avons pas pu arriver à de conclusions claires en ce sens. Avec un peu plus de rigueur et de matériel fiable, il serait intéressant de connaître le rôle réel de la propriété des matériaux dans un instrument de musique.

1.5 GRILLE DES INDICATEURS

Grille d'indicateurs pour le raisonnement

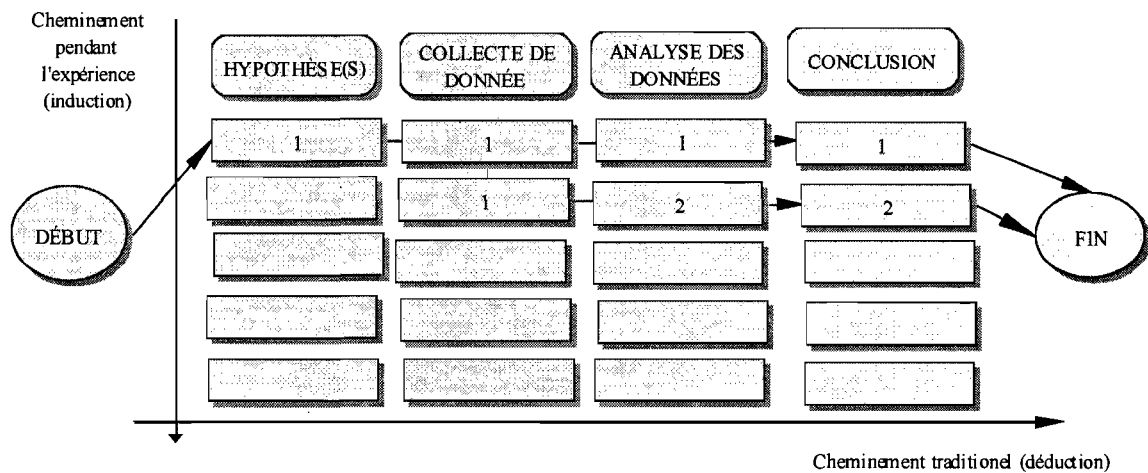
<i>Liste des indicateurs</i>	<i>Présent</i>	<i>Lignes</i>
Indicateurs secondaires		
1. Conjonction de coordination		
2. Comparatif (comme)		
3. Conditionnel		
4. Supposition		
5. Référence		
a) concept		
b) loi (équation)		
c) principe		
d) données		
6. Succession		
a) covariation		
b) causalité simple		
c) causalité formelle		
7. Causalité circulaire		
8. Types d'arguments		
a) Par un exemple (généralisation)		
b) Par une illustration (explication de la généralisation)		
c) Analogique : lien entre le « thème » et le « phoros ».		
9. Liaison (type d'argument et hypothèse)		
a) Exemple		
b) Illustration		
c) Analogie		
10. Contre-argument (réfutation)		
Descripteurs		
11. Cheminement global		
a) Présence d'une ou plusieurs hypothèses au départ		
b) Émergence de nouvelles hypothèses pendant le laboratoire		
12. Structure de l'hypothèse		
a) Présence d'un contexte d'émergence de l'hypothèse		
a1. Cadre théorique		
a2. Observation empirique		
b) Présence d'une justification de l'hypothèse		
b1. Par un cadre théorique		

b2. Par une observation empirique		
13. Évaluation des faits (pendant et après le laboratoire)		
a) Rigueur dans la prise de données		
b) Causes d'erreurs		
c) Incertitudes dans les manipulations		
d) Discussion sur les tableaux		
e) Discussion sur les graphiques		
f) Comparaison des résultats (théorie et expérience)		
14. Conclusion en lien avec l'hypothèse		
a) Argumentation reliée à la justification de l'hypothèse		
b) Argumentation basée sur les données et l'analyse		
c) Biais cognitif de confirmation de l'hypothèse		
Indicateur primaire		
15. Inférence		
a) expérience (hypothèse ou conclusion)		
b) théorique (hypothèse ou conclusion)		
c) mixte (hypothèse ou conclusion)		

Grille d'indicateurs pour le changement conceptuel

Indicateurs secondaires		
15. Inférence		
a) expérience (hypothèse ou conclusion)		
b) théorique (hypothèse ou conclusion)		
c) mixte (hypothèse ou conclusion)		
16. Hypothèse ou supposition fausse		
17. Proposition incohérente avec une équation		
18. Raisonnement analogique		
19. Raisonnement causal		
20. Raisonnement inductif		
21. Raisonnement déductif		
22. Raisonnement conceptuel		
23. Conflit cognitif		
24. Conflit sociocognitif		
25. Définition		
26. Question		
a) Conceptuelle		
b) De validation		
c) De raisonnement		

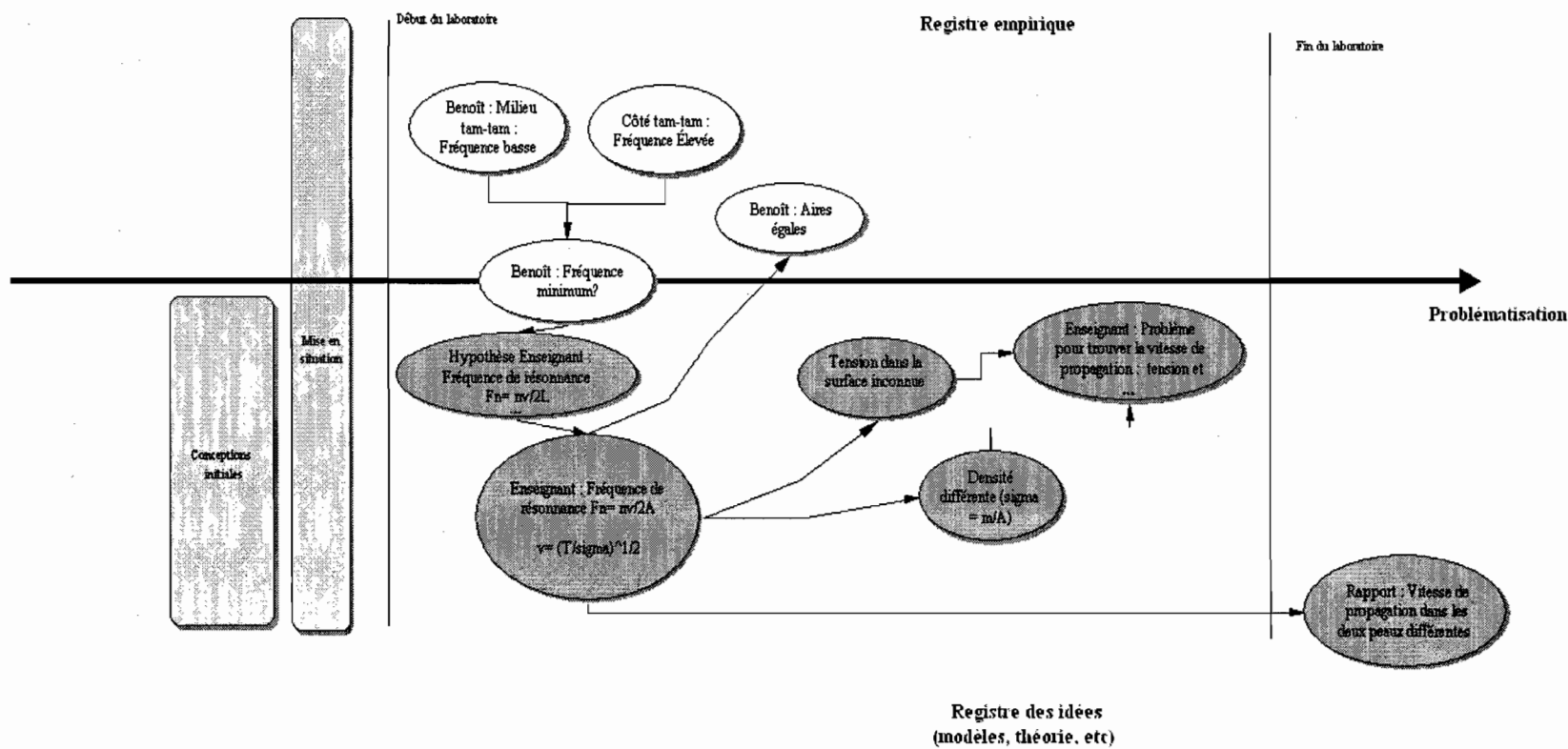
1.6 CHEMINEMENT DES ÉTUDIANTS



Cette équipe a énoncé une hypothèse, sans la justifier. Ceci l'a conduit à faire une collecte de données. Pendant la collecte, avec approfondissement du cadre théorique et discussion avec le professeur (ligne 27), ils se sont rendu compte de l'impossibilité d'arriver à une conclusion concernant leur hypothèse.

Par contre, ils se sont aperçus qu'il était possible de répondre à une autre question, soit celle de la vitesse de propagation de l'onde sur les peaux. Ils en ont fait une analyse, qui leur a permis de tirer une conclusion.

1.7 Carte conceptuelle de la problématisation de l'expérience de laboratoire



Appendice F

***Questionnaire sur les perceptions des étudiants des expériences de laboratoire
ouvertes***

Questionnaire #1 (pré-test) :

Sondage auprès des étudiants du cours « Ondes, optique et physique moderne » avant les expériences de laboratoire ouvertes.

Nom : _____

Si vous avez besoin de plus d'espace pour répondre à ces questions, veuillez utiliser le verso. Justifiez bien chacune de vos réponses.

PARTIE 1

1. Qu'est-ce qu'un laboratoire pour vous ?

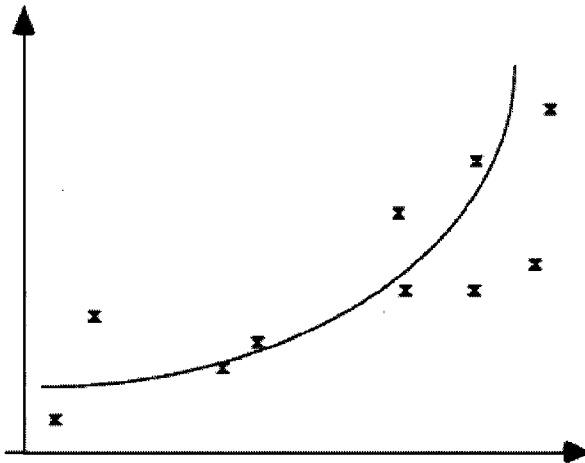
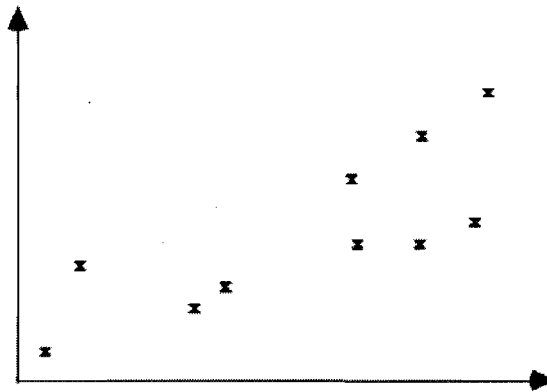
2. Qu'est-ce que vous appréciez dans les laboratoires ?

3. Qu'est-ce que vous appréciez moins ?

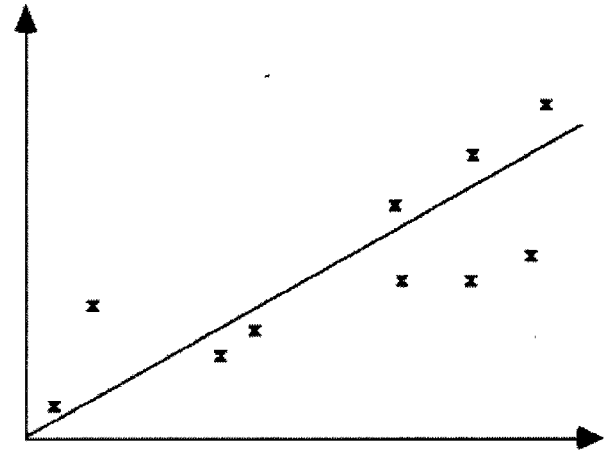
PARTIE 2

4. La question des courbes

Deux chercheurs, A et B, obtiennent une série de points représentés par la figure ci-dessous. Ils donnent deux interprétations sur la figure 2 et 3.



Interprétation de A :



Interprétation de B :

Qui a la meilleure interprétation des données selon vous ?

a) L'équipe A

b) L'équipe B

c) Il n'est pas possible de choisir quelle est la meilleure interprétation avec ces informations

Justification :

5. Voici un tableau sur des mesures prises en laboratoire.

Groupe	Mesures					Moyenne (g)
A	92,4	93,3	93,4	94,0	94,4	93,5
B	91,9	93,3	94,9	95,0	96,9	94,4

Selon vous, quelle affirmation est la plus juste par rapport à ces mesures ?

A	Le groupe A possède les meilleurs résultats, parce que l'écart entre la valeur maximale et minimale est plus petite que le groupe B	
B	Le groupe B possède les meilleurs résultats, parce que l'écart entre la valeur maximale et minimale couvre une plus grande plage que le groupe A.	
C	Les deux valeurs peuvent être choisies	
D	Avec ces données, il n'est pas possible de conclure et de déterminer lequel de ces deux groupes a la meilleure valeur	

Dans le cas où vous avez choisi D, dites ce qu'il manquerait pour pouvoir déterminer la valeur à retenir.

PARTIE 3

De façon générale, dans vos cours de physique, lorsque vous effectuez un laboratoire, vous trouvez : (5 étant la cote **maximale** que vous pouvez accorder à la question).

	1	2	3	4	5
6. Les laboratoires scientifiques consistent en une activité qui m'intéresse					
7. Les laboratoires sont faciles à <i>exécuter</i> pour moi					
8. Les laboratoires sont faciles à <i>rédiger</i> pour moi					
9. La rédaction des rapports de laboratoire m'apporte dans mon apprentissage de la physique					
10. En général, l'approche employée en sciences avec les laboratoires est adéquate					

Questionnaire #2 (post-test) :

Sondage auprès des étudiants du cours « Ondes, optique et physique moderne » après les expériences de laboratoire ouvertes.

Nom : _____

Si vous avez besoin de plus d'espace pour répondre à ces questions, veuillez utiliser le verso. Justifiez bien chacune de vos réponses.

PARTIE 1

1. Qu'est-ce qu'un laboratoire pour vous ?

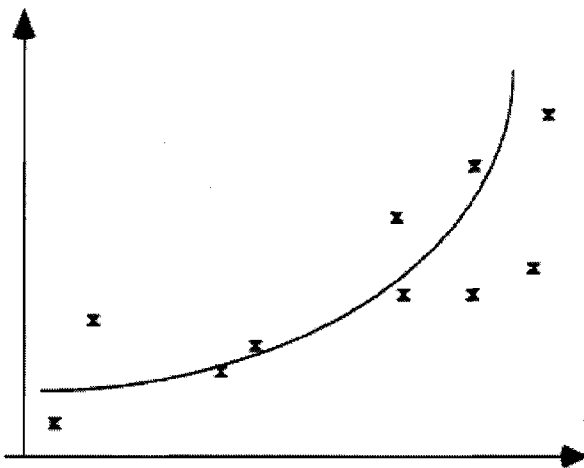
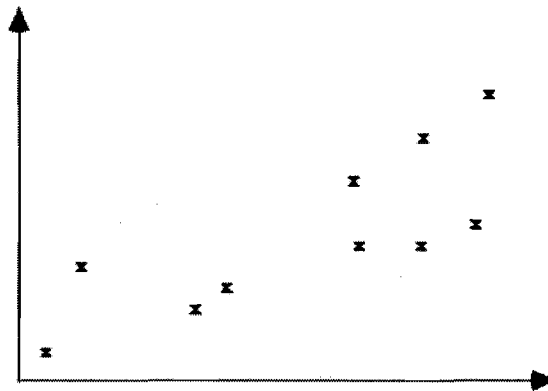
2. Qu'est-ce que vous appréciez dans les laboratoires ?

3. Qu'est-ce que vous appréciez moins ?

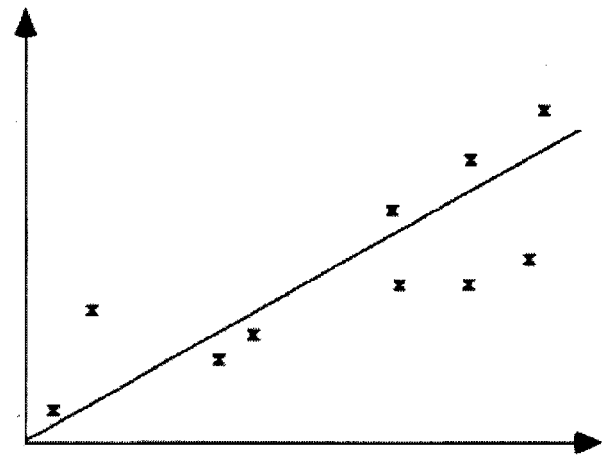
PARTIE 2

4. La question des courbes

Deux chercheurs, A et B, obtiennent une série de points représentés par la figure ci-dessous. Ils donnent deux interprétations sur la figure 2 et 3.



Interprétation de A :



Interprétation de B :

Qui a la meilleure interprétation des données selon vous ?

a) L'équipe A

b) L'équipe B

c) Il n'est pas possible de choisir quelle est la meilleure interprétation avec ces informations

Justification :

5. Voici un tableau sur des mesures prises en laboratoire.

Groupe	Mesures					Moyenne (g)
A	92,4	93,3	93,4	94,0	94,4	93,5
B	91,9	93,3	94,9	95,0	96,9	94,4

Selon vous, quelle affirmation est la plus juste par rapport à ces mesures ?

A	Le groupe A possède les meilleurs résultats, parce que l'écart entre la valeur maximale et minimale est plus petite que le groupe B	
B	Le groupe B possède les meilleurs résultats, parce que l'écart entre la valeur maximale et minimale couvre une plus grande plage que le groupe A.	
C	Les deux valeurs peuvent être choisies	
D	Avec ces données, il n'est pas possible de conclure et de déterminer lequel de ces deux groupes a la meilleure valeur	

Dans le cas où vous avez choisi D, dites ce qu'il manquerait pour pouvoir déterminer la valeur à retenir.

PARTIE 3

De façon générale, dans vos cours de physique, lorsque vous effectuez un laboratoire, vous trouvez : (5 étant la cote **maximale** que vous pouvez accorder à la question).

	1	2	3	4	5
6. Les laboratoires scientifiques consistent en une activité qui m'intéresse					
7. Les laboratoires sont faciles à <i>exécuter</i> pour moi					
8. Les laboratoires sont faciles à <i>rédigier</i> pour moi					
9. La rédaction des rapports de laboratoire m'apporte dans mon apprentissage de la physique					
10. En général, l'approche employée en sciences avec les laboratoires est adéquate					

10) Vous avez vécu des situations de laboratoires différentes de l'année dernière en physique :

a) Qu'avez-vous apprécié dans ce nouveau type d'expérience (laboratoires ouverts) ?

--

b) Quelles difficultés avez-vous rencontrées ?

--

c) Qui aurait-il à améliorer selon vous ?

d) Aimez-vous mieux ce type de laboratoire ouvert ou la méthode traditionnelle que vous utilisez depuis votre entrée au cégep (justifier votre réponse).